

مقدمة قصيرة جدًّا

# الكوارث العالمية

بيل ماجواير

# الكوارث العالمية

# الكوارث العالمية

## مقدمة قصيرة جدًّا

**تأليف**
**بيل ماجواير**

ترجمة
أشرف عامر

مراجعة
شيماء عبد الحكيم طه



# الكوارث العالمية

بيل ماجواير

# Global Catastrophes

Bill McGuire

**الطبعة الأولى ٢٠١٤م**
رقم إيداع ٨٦٦٨ / ٢٠١٤
جميع الحقوق محفوظة للناشر مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
المشهرة برقم ٨٨٦٢ بتاريخ ٢٦ / ٨ / ٢٠١٢

**مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة**
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
**تليفون:** ‎+ ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢‎ **فاكس:** ‎+ ٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣‎
**البريد الإلكتروني:** hindawi@hindawi.org
**الموقع الإلكتروني:** http://www.hindawi.org

---

ماجواير، بيل.
الكوارث العالمية: مقدمة قصيرة جدًّا/تأليف بيل ماجواير.
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧١٩ ٨٢٠ ٢

١–الكوارث

أ–العنوان

٩٠٤

---

تصميم الغلاف: إيهاب سالم.

# المحتويات



إلى ما خلَّفته الكوارث من ضحايا وحطام وأنقاض.

# تمهيد

## أين سينتهي كل شيء؟

ما سيكونُ سيكون
ما سيكونُ سيكون
المستقبل ليس مِلكنا لنراه
ما سيكونُ سيكون.

جاي ليفينجستون، وراي إيفانز

المشكلة الكبرى في توقُّع نهاية العالم هي أننا لن نفرح بصحَّة هذا التوقُّع إن ثبتت صحته. إلا أن هذا لم يثنِ جحافل مدَّعي معرفة الغيب عن توقُّع زوال كوكبنا أو فناء الجنس البشري، لا لشيء إلا ليلفظوا أنفاسهم الأخيرة دون أن ينالوا الفرصة ليقول كلٌّ منهم: «ألم أقل لكم؟» ولو أجرينا قدرًا من التعديل على كلمات مارك توين العظيم، لقلنا إننا قد بالغنا كثيرًا في الاهتمام بأمر فناء الجنس البشري. ومع ذلك فالسؤال المهم هنا هو: إلى متى ستظل الحال على ما هي عليه؟

وجوابًا عن ذلك، سيكون من المعقول تمامًا أن نقول إن العالم لا شك إلى زوال، وذلك في غضون نحو خمسة مليارات سنة عندما ينفد وقود شمسنا في نهاية المطاف، فتتضخم لتصبح عملاقًا أحمر منتفخًا يحرق كوكب الأرض عن آخره. على الجانب الآخر، سنجد أحد متخصصي علم الأخرويات المتحمسين يعارض قطعًا ذلك الرأي، وينطلق ليسرد بحماسٍ العديد من الطرق البديلة والخيالية التي يمكن أن ينتهيَ بها عالمنا ويَفْنَى بها جنسُنا في وقتٍ أقرب من ذلك، وسيذكر منها — على سبيل المثال — الأمراض، والحروب، والكوارث الطبيعية، والتجارب الفيزيائية الغريبة التي تحيد عن المسار الصحيح. ونظرًا للحالة الراهنة لكوكب الأرض فربما تكون معذورًا لو أعدت النظر في الأمر. لعلنا بالرغم من كل شيء سنواجه «نهاية قريبة» كما قال جون ليزلي بإيجاز في كتابه «نهاية العالم»، وليس «نهاية مؤجَّلة». الواقع أنه في ظل تسارُع ظاهرة الاحترار العالمي، والانفجار السكاني، والهيمنة العسكرية المتجددة للقوى العظمى، قد نكون أكثر منطقية إن قلنا إن المغامرة الكبرى للجنس البشري قد شارفت على الانتهاء، بدلًا من استمرارها في المستقبل وعبر الفضاء الفسيح.

ومما يثير شيئًا من القلق أن عالِم الكونيات براندون كارتر — الذي درس في جامعة كامبريدج — قد خرج علينا بفرضية تؤيد — استنادًا إلى نظرية الاحتمال — هذا الرأي. وتقول فرضيته المتعلقة بنهاية العالم إننا لو افترضنا أن جنسنا سينمو ويستمر ملايين أو حتى مليارات السنين، فهذا يعني أن مَن منَّا على قيد الحياة اليوم لا بد أنهم ينتمون إلى جزء متناهي الصغر من البشر الذين كانوا يعيشون في بداية التاريخ البشري. ويجزم كارتر أن ذلك الأمر مستبعَد إلى أقصى درجة من الناحية الإحصائية. والأكثر احتمالًا أننا نمثل الآن عشرة بالمائة من الجنس البشري. بعبارة أخرى، سوف يفنى البشر قبل أن تُتاح لهم أي فرصة لينتشروا عبر الفضاء بأي عدد يُذكر بفترة طويلة.

ويوضح جون ليزلي هذه الفرضية بما يلي: تخيل أن اسمك مُدرَج في سَحب اليانصيب، لكنك لا تعرف عدد الأسماء الأخرى المدرجة في السحب. مع ذلك، لديك سببٌ للاعتقاد أن هناك احتمالين متساويين: إما أن يكون العدد الإجمالي ألفًا أو يكون عشرة. عندما تُجرَى عملية السحب، تكون ورقتك إحدى الأوراق الثلاث الأولى؛ ومن ثَمَّ، فإن قلةً من الناس هم من سيعتقدون — في مثل هذه الظروف — أن السحب كان يضم ألف ورقة لا عشرًا.

إذا صحت فرضية نهاية العالم — والواقع أنها ثبتت في وجه عدد من الهجمات الشرسة من جانب بعض كبار المفكرين — فهذا يعني أن المهلة التي أمامنا لا تتجاوز

بضعة قرون قبل أن يفنى جنسُنا أو كوكبُنا أو كلاهما لسببٍ أو لآخر. ومع أنني منشغل بأمر نهاية العالم والكوارث منذ ما يقرب من ربع قرن، فإنني لا يسعني إلا أن يكون لديَّ على الأقل شيء من التفاؤل؛ فإبادة ٦٫٥ مليارات شخص أو أكثر بضربة واحدة ليست بالأمر الهيِّن، والعديد مما يسمَّى سيناريوهات «نهاية العالم» ليست في الواقع من هذا القبيل، وإنما ستؤدي — في أسوأ الأحوال — إلى انخفاض حاد في أعداد البشر، أو اختزال حضارتنا التكنولوجية العالمية إلى شيء أشد بساطة وأكثر محدودية لبعض الوقت على الأقل، أو كليهما معًا. ولذلك فأنا شخصيًّا منفتح العقل بشأن ما يسمِّيه ستيفن باكستر «كارثة كارتر» في روايته «مجمَّع الأكوان: الزمن». ليس هناك شك في أن الجنس البشري أو نسله إلى فناء في نهاية المطاف، لكن وقت هذا الفناء قد يكون بعيدًا كل البُعد عن يومنا هذا.

لعل هذه هي اللحظة المناسبة لنلقيَ نظرة أكثر تفحصًا على مفهومنا لعبارة «نهاية العالم»، وكيف سنتناول هذا المفهوم في كتابنا. أرى أن هذا المفهوم قد يُفسَّر بأربع طرق مختلفة: (أ) دمار شامل لكوكبنا ولجنسنا البشري؛ وهو أمر سيحدث بلا شك إن ظلت جميع البويضات البشرية محصورة داخل نطاق كوكبنا الأرضي، وذلك عندما تتحول شمسنا إلى «نجم مستعر» بعد خمسة مليارات عام من الآن؛ أو (ب) فقدان كوكبنا الأرضي بسبب كارثةٍ من الكوارث، مع بقاء عدد على الأقل من الجنس البشري في عوالم أخرى؛ أو (ج) فناء الجنس البشري بسبب مرض خبيث لا مفر منه، مع بقاء الكوكب؛ أو (د) نهاية العالم «الذي نعرفه». سأركز في هذا الكتاب على السيناريو الأخير، وسينصبُّ حديثنا على تناول الأحداث الجيوفيزيائية العالمية التي يمكنها أن توجِّه لجنسنا البشري ولمجتمعنا التكنولوجي ضربة قاصمة، إن لم تكن مميتة، وأعني بها الكوارث الطبيعية التي تبلغ من سعة النطاق والقوة ما يكفي لإنهاء عالمنا الذي نعرفه. لن أشغل نفسي بتناول الأخطار التكنولوجية الناشئة عن التقدم في مجال الذكاء الاصطناعي والروبوتات، والهندسة الوراثية، وتكنولوجيا النانو، وتجارب فيزياء الطاقة العالية التي تُجرى على قدم وساق. ولن أتطرق أيضًا — باستثناء الاحترار العالمي — إلى محاولات بعض البشر للحدِّ من أعداد الجنس البشري عن طريق الحروب النووية أو الكيميائية أو البيولوجية. بل إنني أريد بدلًا من ذلك أن أعرض لكم طرفًا من أسوأ ما يمكن للطبيعة أن تفعله بنا، إما من تلقاء نفسها أو بمساعدتنا.

مع أن الطبيعة غير خطرة في الأغلب، فإنها قد تنقلب إلى عدو مخيف، وقد خاضت البشرية معركة شبه مستمرة ضد تقلباتها من فيضانات مغرقة، وعواصف مهلكة، وزلازل

مدمرة، وثورات بركانية كارثية. في السادس والعشرين من شهر ديسمبر عام ٢٠٠٤، أذاقنا تسونامي آسيا المفجع جرعة من أسوأ ما يمكن أن تجرعنا إياه الطبيعة؛ فقد دمَّر ٤٠٠ ألف مبنًى، وأودى بحياة ٣٠٠ ألف شخص من ٤٠ بلدًا مختلفًا — من بينهم ١٠٠ ألف طفل — وترك وراءه ٨ ملايين شخص مُعدِمين بلا مأوًى أو عمل. ومع أن نطاق التركة المفزعة التي خلَّفها تسونامي وراءه لم يسبق له مثيل في العصر الحديث، فقد حالفنا كثير من الحظ إجمالًا، ونَمَتْ حضارتنا وتطورت في ظل هدوء نسبي من الناحيتين المناخية والجيولوجية. لكن ما ينتظرنا في القرن المقبل وما بعده لا يبشر بالخير أبدًا؛ فالارتفاع الكبير في درجة الحرارة ومستوى سطح البحر خلال العقود القادمة، والناجم عن الغازات الدفيئة — فضلًا عن الزيادة المستمرة في عدد السكان — سيؤدي دون شك إلى زيادة كبيرة في عدد وشدة ما سيقع من كوارث طبيعية. ومما يتعارض مع حدْسنا أنه قد ينتهي الأمر ببعض الأجزاء من كوكبنا وقد بلغت من البرودة مبلغًا؛ فالمملكة المتحدة — على سبيل المثال — قد تكون في طريقها إلى التجمد في هذا القرن في ظل الضعف الذي يعتري تيار الخليج الدافئ. تُرى ما الذي حدث تحديدًا للعصر الجليدي الجديد الذي تنبَّأ العلماء بقدومه؟ هل تلاشى ذلك الخطر مع بداية ظاهرة الاحترار العالمي التي تسبب فيها الإنسان؟ أم أن الأنهار الجليدية تتحيَّن الفرصة المناسبة؟

مع أن تغير المناخ من الناحية الجيولوجية يُعد سريعًا، فإنه بطيء الظهور مقارنةً بمتوسط عمر الإنسان، ويمكن — إلى حدٍّ ما على الأقل — قياس تقدُّمه والتنبؤ به. الأكثر صعوبةً في التنبؤ هي تلك الأحداث الجيولوجية التي تبلغ من العِظَم ما يكفي لتدمير الجنس البشري بأكمله، والتي لم نشهدها بعدُ في العصر الحديث. ويمكن تقسيم تلك الأحداث بوجهٍ عامٍّ إلى ظواهر تقع خارج كوكب الأرض وأخرى تقع داخله. يتضمن النوع الأول الخطر المعروف على نطاق واسع والناشئ عن اصطدام كوكبنا بالمذنَّبات أو الكويكبات. فاصطدام جرم فضائي صغير نسبيًّا — لا يجاوز قُطره كيلومترين — بكوكبنا قد يمحو من الوجود نحو رُبع سكان الأرض.

أما احتمال أن تأتيَ الكارثة من الأرض نفسها فلم يتناوله كثيرون بالتوثيق، لكن خطر وقوع كارثة طبيعية عالمية تنشأ من غليان قشرة الأرض وصريرها تحت أقدامنا هو خطر حقيقي قائم. وفي انتظارنا ثلاثة أحداث ملحمية سبق لكوكبنا أن شهدها عدة مرات خلال عصور ما قبل التاريخ، لكننا سنشهدها في عصور التاريخ. منذ ٧٤ ألف عام، أحال انفجار بركاني هائل كارثي كوكب الأرض إلى شتاء بركاني مرير، وقبل ما يزيد عن ١٠٠

ألف عام بقليل سحقت موجات عملاقة ناجمة عن انهيار أحد البراكين في هاواي ساحلَ المحيط الهادي بأكمله بلا رحمة. وقُبيل ألف عام من ميلاد المسيح، ومرة أخرى خلال عصور الظلام، ضربت عاصفة زلزالية رقعة كبيرة من أوروبا الشرقية والشرق الأوسط، فأتت على مدن عظيمة على مساحة هائلة فسوَّتها بالأرض. وليس هناك شك في أن مثل هذه الكوارث التكتونية ستحدث مرة أخرى في المستقبل، لكن يا ترى ماذا سيكون تأثيرها على مجتمعنا العالمي القائم على التكنولوجيا؟ وإلى أي مدًى سننجح في مواجهة ذلك؟ هذا أمر يصعب التنبؤ به، لكن لا شك أن أوضاع معظم سكان الأرض سوف تنعطف نحو الأسوأ.

نظرًا لأننا نعيش على سطح أكثر أجرام النظام الشمسي نشاطًا، يجب أن نضع دومًا نُصب أعيننا أننا لا نحيا ونزدهر إلا عن طريق الصدفة الجيولوجية. وكما سنتناول في الفصل الرابع، فقد كشفت الدراسات التي أُجْرِيَتْ مؤخرًا على الحمض النووي البشري أن الجنس البشري كان قاب قوسين أو أدنى من أن ينقرض في أعقاب انفجار بركاني هائل لم يسبق له مثيل قبل ٧٤ ألف عام، وأننا لو كنا نعيش على سطح كوكبنا منذ نحو ٦٥ مليون عام عندما ضرب الأرضَ كويكبٌ قُطره ١٠ كيلومترات، لكُنا اندثرنا كما اندثرت الديناصورات. وهناك حقيقة علينا أن نواجهها، وهي أنه ما دمنا نحصر أنفسنا على كوكب واحد في النظام الشمسي، فإن فُرص بقاء الجنس البشري على المدى الطويل ستظل دائمًا ضعيفة. ومهما بلغت تقنياتنا من تقدم، ما دمنا نتقوقع داخل كوكب الأرض، فستظل تحدق بنا دائمًا كل أخطار الطبيعة وتقلباتها العنيفة. وحتى لو كنا نرفض سيناريو اقتراب النهاية، فمن المرجَّح أن التقدُّم الذي يحرزه الجنس البشري سيكون مصيره الإعاقة أو التدمير على يد سلسلة من الكوارث الطبيعية العالمية التي سوف تنشأ على فترات غير منتظمة ما دامت الأرض موجودة، وما دمنا نعيش عليها. ومع أن بعض هذه الأحداث قد تضع نهاية العالم الذي نعرفه، وتمنع وقوع اصطدام كبير لكوكبنا بكويكب آخر أو مُذَنَّب آخر كالذي أتى على الديناصورات، فإنه من المرجح أن يظل الجنس البشري على قيد الحياة وأن يحرز تقدمًا في المجمل؛ ولذلك ففي مرحلةٍ ما في المستقبل، سوف نبدأ في التحرك للخروج إلى الفضاء، لنبدأ بالعوالم الشبيهة بعالمنا ثم نتحول إلى النجوم. وفي ظل المناخ السياسي الحالي الذي يتوخى المصلحة الذاتية، من المستحيل التنبؤ بالوقت الذي سنشهد فيه تحركًا جادًّا نحو الفضاء، لكن متى حدث هذا فإنه سيكون للبشر جميعًا حينها أن يتنفسوا الصُّعَداء. أخيرًا ستنتقل بعض البويضات

البشرية على الأقل إلى سلَّة مختلفة. لا يعرف أحدٌ ما قد يحدث بعد ذلك. وكما سيبين هذا الكتاب، عندما يتعلق الأمر بعلم فيزياء الأرض، فإن ما كُتِبَ سيحدث لا محالة.

بيل ماجواير

هامبتون، إنجلترا

أغسطس ٢٠٠٥

الفصل الأول

# مقدمة قصيرة جدًّا عن الأرض

## الخطر: الطبيعة في أوج نشاطها

اعتدنا أن نشاهد على شاشات التليفزيون أنقاض المدن التي ضربتها الزلازل، أو آلاف اللاجئين المذعورين الهاربين من ويلات انفجار بركاني جديد، حتى إن تلك المشاهد لم تَعُدْ تثير دهشتنا أو مخاوفنا؛ نظرًا لأننا بمنأًى عن تلك الكوارث مكانًا، ولأننا نفتقر إلى التعاطف الحقيقي مع من تحلُّ بهم. ترى الغالبيةُ العظمى من السكان الذين حالفهم الحظ بالعيش في المناطق المزدهرة في أوروبا وأمريكا الشمالية وأوقيانوسيا؛ الكوارثَ الطبيعية الكبرى على أنها أحداث سريعة الزوال تحدث في أراضٍ غريبة بعيدة جدًّا، مع أنهم هم أنفسهم ليسوا بمنأًى تامٍّ عن التعرُّض لتلك الكوارث. إنها تثير قدرًا من الاهتمام لدى هؤلاء الأفراد، لكنه اهتمام نادرًا ما يكون له تأثير على واقعٍ يوميٍّ يكترث فيه الناس لوقوع جريمة قتْل في مسلسل شهير أو لإحراز فريق كرة القدم المحلي فوزًا، أكثر كثيرًا مما يكترثون لوفاة ٥٠ ألف فرد في أحد الانهيارات الطينية في فنزويلا. اللافت للنظر أن مثل هذا الموقف تجده سائدًا في مناطق في البلدان المتقدمة المعرَّضة هي الأخرى لوقوع الثورات البركانية والزلازل. تَحَدَّثْ إلى أحد سكان مدينة ماموث في كاليفورنيا حول خطر عودة بركان مدينتهم إلى الحياة مرة أخرى، أو إلى أحد سكان مدينة ممفيس بولاية تينيسي حول احتمالات تعرُّض المدينة لزلزال هائل يسويها بالأرض، ومن المرجَّح أن يهز كتفيه ويخبرك أن لديه أمورًا أكثر إلحاحًا عليه أن يشغل باله بها. والتفسير الوحيد هو أن هؤلاء يعيشون حالة من الإنكار؛ فهم يدركون تمامًا أن كارثة مروعة ستحدث يومًا ما، لكنهم لا يَقْبلون حقيقة أنها قد تحدث لهم أو لأحفادهم.

عندما نتحدث عن الكوارث الطبيعية على نطاق عالمي، ستجد هذا السلوك سائدًا في كل مكان؛ في أوساط الحكومات الوطنية، والوكالات الدولية، والتكتلات التجارية المتعددة الجنسيات، وجزء كبير من المجتمع العلمي. لكن هناك بعض الأسباب تدعو للتفاؤل، وقد بدأ هذا السلوك في التغير في جانب واحد على الأقل؛ فقد صار الجميع الآن على علم بالخطر الذي يحدق بالأرض من ارتطامها بكويكب أو بمُذَنَّب، والسباق جارٍ من أجل تحديد جميع الكويكبات التي تقترب من الأرض والتي لديها القدرة على إبادة جنسنا البشري. وبفضل الأفلام الوثائقية التليفزيونية التي تحظى بدعاية واسعة النطاق، والتي تُعرض في المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية، بدأت التهديدات المتفاقمة للانفجارات البركانية الهائلة وموجات تسونامي العملاقة تصل الآن إلى جمهور أكبر بكثير من المجموعات المحدودة من العلماء الذين يعملون على هذه الظواهر. على وجه التحديد، كفلت التغطيةُ الإعلامية الشاملة لتسونامي آسيا عام ٢٠٠٤ استيعابَ العالم وتقديرَه لتلك الظاهرة وقدرتها على إحداث الدمار والخسائر في الأرواح على نطاق واسع، حتى صار ذلك معلومًا لدى القاصي والداني. واستجابةً لذلك، تسعى حكومة المملكة المتحدة إلى تشكيل لجنة علمية دولية لتقييم الأخطار الطبيعية المحتملة على هذا النطاق، وهناك خطط بلغت من التطور مبلغًا في وضع نُظُم إنذارٍ بأمواج تسونامي في كلٍّ من المحيطَين الهندي والأطلسي.

الواقع أن كوكب الأرض مكان هشٌّ للغاية؛ مما يجعله محفوفًا بالمخاطر؛ فهو صخرة صغيرة تندفع بعنف وسرعة عبر الفضاء، تدمره الحركات العنيفة لقشرته، فضلًا عن تعرُّضه لتغيُّرات مناخية هائلة بسبب تغيُّر ظروفه الجيوفيزيائية والمدارية. وبعد مُضي ١٠ آلاف عام فحسب على نهاية العصر الجليدي، يشهد كوكب الأرض أعلى درجات حرارة عرفها تاريخ الأرض الحديث. وفي الوقت نفسه يزيد الانفجار السكاني واستنزاف الموارد البيئية كثيرًا من تعرُّض المجتمع الحديث للكوارث الطبيعية مثل الزلازل، وأمواج تسونامي، والفيضانات، وثورات البراكين. في هذا الفصل التمهيدي، سنتناول الأخطار الحالية المحدقة بهذا الكوكب ومَن يعيشون عليه تمهيدًا للنظر في الأخطار المستقبلية الأشد وطأة.

كوكب الأرض هو الكوكب الأكثر نشاطًا في نظامنا الشمسي، وهذا النشاط هو الذي حبانا بمجالنا المغناطيسي الواقي، وغلافنا الجوي، ومحيطاتنا، وأخيرًا حياتنا. لكن الميزات الجيوفيزيائية التي تجعل الأرض تهب الحياة وتحافظ عليها هي نفسها التي تجعلها محفوفة بالمخاطر. على سبيل المثال، البراكين المذهلة التي ساعدت في وقت مبكر من

تاريخ كوكبنا على تكوين الغلاف الجوي والمحيطات هي نفسها التي أبادت خلال القرون الثلاثة الماضية رُبع مليون شخص، وألحقت إصابات بأعداد لا حصر لها. في الوقت نفسه، الأمطار التي تغذي الأنهار وتوفر لنا مياه الشُّرب التي نحتاج إليها للبقاء على قيد الحياة قد دمَّرت مساحات شاسعة من الكوكب عن طريق الفيضانات التي بلغت معدلات هائلة في السنوات الأخيرة. ففي أي سنة منذ ١٩٩٠، قُتل نحو ٢٠ ألف شخص وتضرر عشرات الملايين بسبب الفيضانات الجارفة، وفي عام ١٩٩٨ ألحقت فيضانات نهرية كبرى في الصين وبنجلاديش أضرارًا بمئات الملايين من السكان. ويمكنني أن أستمر على المنوال نفسه وأتحدث عن عدد الأشخاص الذين استمتعوا بتساقط الثلوج في بدايتها والذين سرعان ما فقدوا حياتهم عندما تحوَّل الأمر إلى انهيار جليدي، أو كيف يمكن لنسيم خفيف يحرك الزوارق بخفة على سطح الأمواج أن ينقلب سريعًا إلى ريح عاتية تسفر عن دمار بالغ؛ لكني أعتقد أن الصورة قد اتضحت. توفر لنا الطبيعة كل احتياجاتنا، لكن يجب أن نتوخى بالغ الحذر من تقلباتها السريعة.

## كوكب الأرض: نبذة تاريخية مختصرة

الكوارث الجيوفيزيائية العالمية الكبرى التي تنتظرنا في المستقبل ليست سوى ظواهر طبيعية عادية في صورة أشد وطأة؛ لذلك فإنه كي نفهم طبيعة تلك الكوارث، لا بد أن نعرف شيئًا عن الأرض وكيفية عملها. وهنا سأمر سريعًا على ٤,٦ مليارات عام من تاريخ الأرض، وأعرض أثناء ذلك الخصائص التي تجعل عالمنا محفوفًا بالمخاطر إلى هذا الحد، وتجعل مستقبلنا عرضة للزوال هكذا. في البداية، يجدر بنا أحيانًا التفكير في مدى قِدَم الأرض، وأن نقدِّر فكرة أن كوننا لم نشهد كارثة طبيعية بعينها من قبلُ لا يعني أنها لم تقع قط، ولا يعني أنها لن تقع مرة أخرى. كوكب الأرض موغِلٌ في القدم إلى حدٍّ يؤكد لنا أنه ما من شيء يخرج من جعبة الطبيعة إلا وقد شهدته الأرض من قبل. ولأعطيَ القارئ انطباعًا حقيقيًّا حول مدى قِدَم كوكب الأرض مقارنةً بقِدَم الجنس البشري، لعلِّي ألجأ مرة أخرى إلى تشبيهٍ استخدمته من قبل: تخيل مُجْمَل تاريخ الأرض ممثَّلًا بفريق من العدَّائين يتبارَوْن في سباق ١٥٠٠ متر مؤلف من ثلاث دورات ونصف الدورة. في الدورة الأولى تجد كوكبنا عبارة عن قِفار قاحلة تضربها الكويكبات وتنفجر فيها البراكين. وخلال الدورة الثانية يبدأ الكوكب يبرد؛ ما يسمح بتكوُّن المحيطات وظهور أبسط أشكال الحياة. أما الفترة الجيولوجية المعروفة باسم العصر الكمبري، الذي يحدد الظهور الفعلي لأشكال

الحياة المختلفة، فلن تبدأ إلا بعد أن يدق الجرس ويندفع المتسابقون في آخر دورة من السباق. وبينما هم يتبارَوْن للوصول إلى خط النهاية تظهر الديناصورات ثم تندثر حين لا يكون بين متقدمي السباق وخط النهاية سوى ٢٥ مترًا. أين نحن؟ حسنًا، لم يظهر أسلافنا الأوائل إلا في آخر جزء من الثانية من السباق، حين يلامس الفائزُ المنهكُ القوى شريط النهاية.

منذ ظهرت أُولى الكائنات الوحيدة الخلية قبل مليارات السنين — وسط مزيج كيميائي ملتهب وغلاف جوي مهلِك — كانت مظاهر الحياة تشق طريقها بصعوبة بالغة من أجل البقاء والتطور في وجه ظواهر جيوفيزيائية ربما تحمل الهلاك. واليوم لم يتغير شيء من هذا، ربما باستثناء تكرار حدوث الكوارث العالمية، وكثيرون على سطح هذا الكوكب لا يزالون يواجهون تهديدًا يوميًّا لحياتهم، وصحتهم، ومعاشهم بسبب بركان أو زلزال أو فيضان أو عاصفة. إن الأخطار الطبيعية التي ضربت الجنس البشري في الماضي — والتي تشكل تهديدًا متزايدًا في المستقبل — لها جذور تمتد إلى أكثر من أربعة مليارات عام إلى وقت تكوُّن النظام الشمسي وتشكُّل الأرض من قرص من الحطام يدور حول الشمس التي كانت في طور التكوين. وكوكب الأرض، مثله مثل الكواكب الشقيقة، يمكن أن يُنظر إليه باعتباره أحد الفائزين بالجائزة الكبرى في مسابقة اليانصيب؛ واحدًا من قطع الحطام الفضائي التسع التي نجحت من بين تريليونات الأجرام الأصلية في النمو والبقاء، في حين أبيدت البقية في اصطدامات مذهلة بعضها ببعض، أو اكتسحتها القلة المحظوظة الأكبر حجمًا بفعل مجالات جاذبيتها الأقوى والأشد تأثيرًا. وعملية الاكتساح تلك — والمعروفة باسم «التنامي» — تضمَّنت كوكب الأرض والكواكب الأخرى حيث زادت كُتَلها عن طريق الاصطدام مع غيرها من الصخور الأصغر حجمًا، وهي عملية بالغة القوة اكتملت — لحسن حظنا — في الغالب قبل نحو ٤ مليارات سنة. بعد ذلك الحين، أصبح النظام الشمسي أقل فوضوية بكثير؛ حيث تضاءل كثيرًا الحطام المندفع هنا وهناك، وأصبحت تأثيراته على الكواكب أقل انتشارًا. ومع ذلك، وقعت تصادمات كبرى بين الأرض وكلٍّ من «الكويكبات» و«المُذَنَّبات» — وهي أجرام صخرية وجليدية صخرية نجت من عملية الإبادة الشاملة التي تعرَّضت لها الأجرام السماوية في فجر تاريخ النظام الشمسي — مثلما يتضح من السجل الجيولوجي للكوكب. وكما سنتناول في الفصل الخامس، فإن تلك التصادمات كانت السبب وراء عدد من حالات الانقراض الجماعي على مدى نصف المليار سنة الماضي، بما في ذلك انقراض الديناصورات. وعلاوةً على ذلك فإن خطر ارتطام

الكويكبات والمذنبات بكوكبنا لا يزال قائمًا، وقد حدد العلماء أكثر من ٧١٨ كويكبًا أطلقوا عليها اسم «الكويكبات ذات الخطورة المحتملة»، وربما يكون خطرها وشيكًا للغاية. ومن بين تلك الكويكبات جِرم اكتُشِف حديثًا يُدعى «أبوفيس» (وهو ما يمثل نذير شؤم؛ إذ إن هذا هو الاسم اليوناني للإله المصري أبيب أي «المدمِّر»)، وسوف يمر داخل مدارات أقمار اتصالاتنا الاصطناعية في ١٣ أبريل عام ٢٠٢٩.

كان كوكب الأرض في بداية تكوُّنه أقرب في الشبه إلى أسوأ صورة تخيلناها للجحيم منه إلى الكوكب الأزرق الخلاب الذي نراه اليوم؛ فالحرارة الهائلة الناتجة من الاصطدامات — جنبًا إلى جنب مع الحرارة الناتجة عن التركيزات العالية للعناصر المشعة في باطن الأرض — كانت كفيلة بتغطية سطح الأرض بالكامل بمحيط متموِّج من الصهارة (الصخور المنصهرة) التي ربما يبلغ عمقها ٤٠٠ كيلومتر. ربما تشابهت درجات الحرارة في ذلك الوقت مع درجات حرارة عدد من النجوم الأكثر برودة؛ ربما اقتربت من ٥٠٠٠ درجة مئوية. وحتمًا حين التقت الصخور المنصهرة ببرودة الفضاء القارسة، فقدت حرارتها بسرعة؛ وهو ما جعل الطبقات العليا من الصهارة تُكوِّن قشرة رقيقة. ومع أن التيارات الدائمة التموُّج في المنطقة المنصهرة الواقعة أسفل تلك القشرة مباشرةً تسببت مرارًا وتكرارًا في تصدعها، ثم انزلاقها مرة أخرى داخل تلك الدوامة المضطربة، فإنه قبل ٢٫٧ مليار سنة تمكَّنت قشرة أكثر استقرارًا وأطول أمدًا من التكوُّن واكتساب سُمْك أكبر تدريجيًّا. واستمرت «تيارات الحَمْل» تتحرك داخل الصخر الساخن المنصهر جزئيًّا أسفل تلك القشرة، فتنتقل الحرارة من المصادر المشعة في باطن الكوكب إلى القشرة الخارجية الصلبة المتنامية، ومنها تنطلق الحرارة إلى الفضاء. وبسبب الحركة المضطربة لتلك التيارات، لم تكن الطبقة الخارجية للأرض قط كتلة واحدة متماسكة، بل تألفت من صفائح صخرية منفصلة يتحرك بعضها بالتناسب مع بعضٍ بفعل تيارات الحمل البطيئة الحركة.

أثناء تكوُّن القشرة، كانت هناك تغييرات كبيرة تحدث أيضًا في باطن الأرض. كانت العناصر الأثقل وزنًا — لا سيما الحديد والنيكل — تغوص شيئًا فشيئًا بفعل الجاذبية نحو مركز الأرض لتشكِّل اللب المعدني للكوكب. وفي مركز هذا اللب المعدني تشكلت كرة مكونة في معظمها من الحديد الصُّلب والنيكل، لكن ظروف الضغط ودرجة الحرارة في الجزء الخارجي من هذا اللب المعدني كانت من القوة بحيث أبقت على انصهار تلك الكرة. ولكونها سائلًا فقد دارت هي الأخرى تأثرًا بدوران الأرض؛ ما أدَّى إلى ظهور مجال

مغناطيسي يحمي الحياة على سطح الكوكب عن طريق منع الإشعاع الضار الآتي من الفضاء، ويوفر لنا وسيلة موثوقًا بها للملاحة بدونها كان سيصعب على أسلافنا الأوائل القيام برحلاتهم الاستكشافية والعودة إلى ديارهم مرة أخرى.

على مدار الملياري عام الماضيين أو نحو ذلك، هدأ الوضع كثيرًا على الكوكب، ولم تتغير كثيرًا بنيته أو العمليات الجيوفيزيائية التي تجري داخله وعلى سطحه. وباطن الأرض يتألف من بنية ثلاثية؛ أولًا: قشرة مكونة من معادن منخفضة الكثافة — سيليكات في الأغلب — داخلة في تركيب الصخور التي تشكَّلت بفعل البراكين، والترسب، والدفن. ثانيًا: «وشاح» منصهر جزئيًّا يتكون من معادن أعلى كثافة (سيليكات هي الأخرى). ثالثًا: لب من الحديد والنيكل مع بعض الشوائب. في نهاية المطاف تنشأ المخاطر التي تصيب باستمرارٍ مجتمعنا من حاجة الكوكب إلى التخلص من الحرارة التي تتولد داخله باستمرارٍ بسبب انحلال العناصر المشعة. وكما حدث في بداية تاريخ الأرض، تُحمَل هذه الحرارة نحو سطح الأرض بواسطة تيارات الحمل الحراري الموجودة داخل الوشاح. وهذه التيارات بدورها تشكل القوى المحركة التي تدفع الصفائح الصخرية الكبيرة عبر سطح الكوكب، ويقوم عليها مفهوم «الصفائح التكتونية» الذي يستخدمه الجيوفيزيائيون لوضع إطار لكيفية عمل الأرض جيولوجيًّا.

إن الحركات النسبية للصفائح نفسها — التي تكوِّن القشرة والجزء العلوي الجامد من الوشاح (ويُعرفان معًا باسم الغلاف الصخري) — ترتبط بدورها ارتباطًا مباشرًا بالمخاطر الجيولوجية الكبرى، كالزلازل والبراكين التي تتركز في المقام الأول على طول حدود الصفائح. وهنا نجد عددًا من التفاعلات المحتملة. قد تحتك صفيحتان إحداهما بالأخرى احتكاكًا عنيفًا؛ مما يتسبب في تراكم الضغط وإطلاقه دوريًّا عبر الزلازل المدمرة. ومن الأمثلة على حدود الصفائح «المحافِظة» هذه صدع سان أندرياس الذي يفصل غرب كاليفورنيا عن بقية الولايات المتحدة، وصدع شمال الأناضول في تركيا، الذي تولد عن آخر تحركاته زلزال كبير عام ١٩٩٩. وقد يحدث بدلًا من ذلك أن تصطدم صفيحتان اصطدامًا مباشرًا. فإذا كانت كلتا الصفيحتين تحمل قارات تتألف من صخور جرانيتية منخفضة الكثافة — كما هي الحال مع الصفيحة الهندية والصفيحة الأوراسية — فنتيجة هذا التصادم ظهور سلسلة جبلية مرتفعة — في هذه الحالة جبال الهيمالايا — وفي الوقت نفسه تولُّد زلازل كبرى كالزلزال الذي دمَّر إقليم بهوج الهندي في يناير ٢٠٠١. أما إذا اصطدمت صفيحة محيطية مكونة من البازلت الكثيف بصفيحة قارية منخفضة الكثافة،

فسوف تندس الصفيحة المحيطية في الأسفل مرتدَّة إلى داخل وشاح الحمل الحراري. ومع انزلاق إحدى الصفيحتين أسفل الأخرى (وهي عملية تُعرف باسم الاندساس)، تنشأ أشد الزلازل وطأةً في العالم. ومن بين تلك الزلازل زلزال تشيلي عام ١٩٦٠، وزلزال ألاسكا عام ١٩٦٤، ومؤخرًا زلزال سومطرة (إندونيسيا) عام ٢٠٠٤؛ وكلها أثارت موجات تسونامي مدمرة. وظاهرة الاندساس تحدث باستمرار في جميع أنحاء الدول المطلة على المحيط الهادي، ما يؤدي إلى وجود قدر كبير من النشاط الزلزالي في ألاسكا، واليابان، وتايوان، والفلبين، وتشيلي، وأماكن أخرى في المنطقة المحيطة بالمحيط الهادي. وهذا النوع من حدود الصفائح الهدامة — سُمي بذلك لأنه يدمر إحدى الصفيحتين المتصادمتين — يحتوي أيضًا أعدادًا كبيرة من البراكين النشطة. ومع أن آليات تكوُّن الصهارة في هذه المناطق تكون معقدة أحيانًا، فهي في نهاية المطاف نتيجة لعملية الاندساس، فضلًا عن أنها تتأثر كثيرًا بالذوبان الجزئي للصفيحة المندسة أثناء الضغط عليها إلى مستويات أكثر سخونة في الوشاح. ترتفع الصهارة الجديدة المتكونة بهذه الطريقة لأن كثافتها أقل نسبيًّا من كثافة الصخور المحيطة بها؛ فتشق طريقها إلى سطح الأرض في صورة براكين تكون عادةً متفجرة وشديدة الخطورة. وهناك سلاسل من مئات البراكين النشطة والهامدة تحيط بالمحيط الهادي مكوِّنة حلقة النار الأسطورية، بينما يقبع البعض الآخر فوق مناطق الاندساس في البحر الكاريبي وإندونيسيا. والواقع أن كل الثورات البركانية الكبرى والمهلكة تقع في تلك المناطق، وقد وقعت كوارث بركانية حديثة في بيناتوبو (الفلبين) عام ١٩٩١، وفي رابول (بابوا غينيا الجديدة) عام ١٩٩٤، ومونتسيرات (جزر الأنتيل الصغرى ومنطقة البحر الكاريبي) منذ عام ١٩٩٥ حتى وقت كتابة هذه السطور.

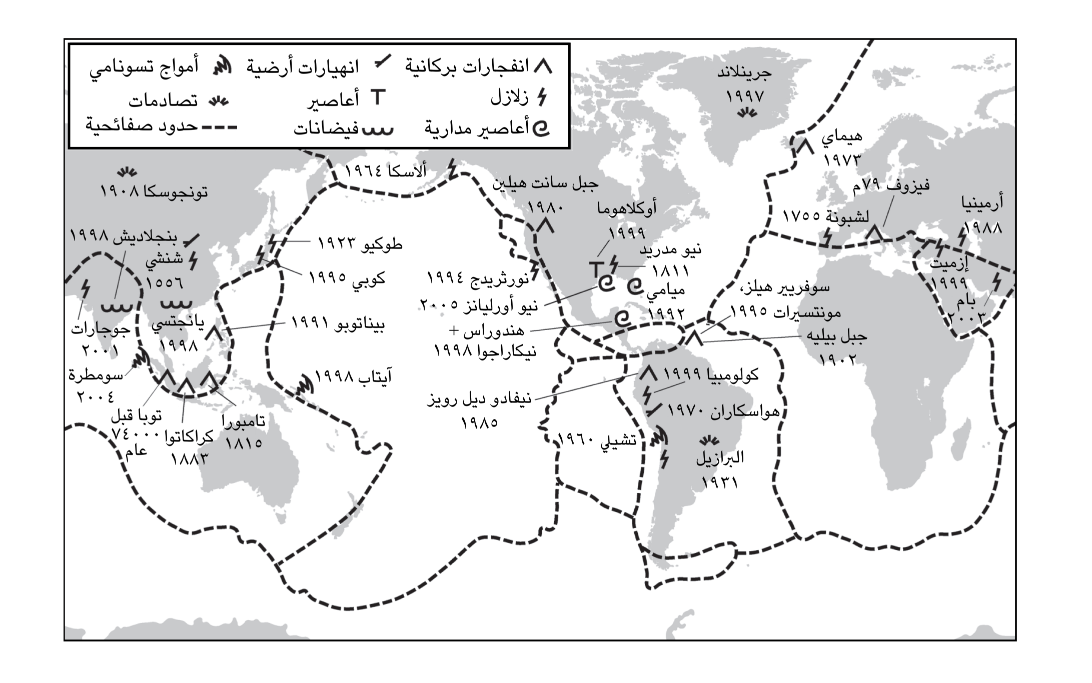
للتعويض عن استهلاك بعض مواد الصفيحة، لا بد من تكوُّن صخور جديدة لتأخذ مكانها. ويحدث هذا فيما يُسَمَّى بحدود الصفيحة البنَّاءة، التي ترتفع على طولها الصهارة الجديدة من داخل الوشاح، ثم تتصلب، وتدفع الصفيحتين إحداهما بعيدًا عن الأخرى. يحدث هذا أسفل المحيطات على طول شبكةٍ مساحتُها أربعون ألف كيلومتر من الارتفاعات الطبوغرافية الخطية المعروفة باسم «نظام حيد وسط المحيط»، حيث يوازن الغلاف الصخري المتكوِّن حديثًا ما يُفقد من الوشاح عند الحدود الهدامة. ويمر جزء كبير من نظام حيد وسط المحيط تحت منتصف المحيط الأطلسي، ويتوسط أيسلندا فاصلًا بين الصفائح الأوراسية والأفريقية في الشرق عن صفائح الأمريكتين الشمالية والجنوبية في الغرب. وهنا أيضًا تقع براكين وزلازل، لكن الثورات البركانية يغلب عليها الاعتدال

نسبيًّا، بينما تكون ثورات الزلازل محدودة الأثر. تتحرك الصفائح حركة مستمرة مدفوعةً بتيارات الحمل الحراري في الوشاح، وبمعدل يوازي تقريبًا معدل نمو الأظافر، وهو ما يغير باستمرار مظهر كوكبنا، ويضمن أنه بمرور الزمن تنال كل بقعة فيه حصتها العادلة من الزلازل والثورات البركانية.

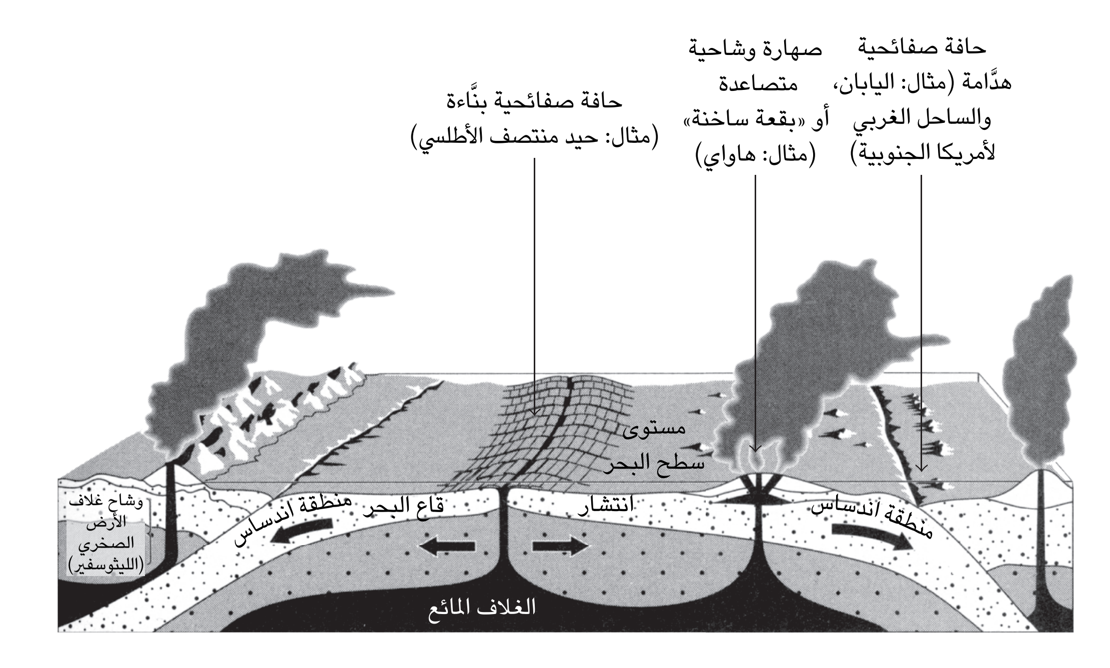
## الأرض الخطرة

بينما ترتبط الزلازل والثورات البركانية بكيفية قيام كوكبنا بنشاطه جيولوجيًّا، فإن الأخطار الجيوفيزيائية الأخرى تعتمد أكثر على العمليات التي تحدث في الغلاف الجوي للأرض. فبدلًا من الحرارة التي تأتي من باطن الأرض، يتأثر طقس كوكبنا في عمله بالطاقة القادمة من الشمس. وأقرب نجم إلينا هو السبب الرئيسي — إلى جانب دوران الأرض والتبادل المستمر للطاقة والمياه مع المحيطات — في حدوث الأعاصير المدارية والفيضانات التي تحصد الأرواح والممتلكات حصدًا، لا سيما في البلدان النامية. غير أن هناك ظواهر طبيعية فتَّاكة أخرى مركبة المنشأ وليس من السهل تصنيفها؛ فأمواج البحر العملاقة المعروفة باسم تسونامي (أو التي تُسَمَّى أحيانًا خطأً باسم «موجات المد»)، على سبيل المثال، يمكن أن تتشكل بعدة طرق مختلفة؛ في الأغلب بسبب الزلازل التي تحدث تحت سطح البحر، وأيضًا بسبب الانهيارات الأرضية في المحيط، والثورات البركانية التي تضرب الجزر والسواحل. بالمثل، تحدث العديد من الانهيارات الأرضية نتيجة تعاون بين الجيولوجيا والأحوال الجوية؛ إذ يتسبب هطول الأمطار الغزيرة في زعزعة استقرار المنحدرات الضعيفة أصلًا. ومع أنه لا يزال هناك كمٌّ هائل من المعلومات التي لا نعرفها بعدُ عن الأخطار الطبيعية وأسبابها وخصائصها، فإن مقدار ما نعرفه الآن بلغ حدًّا موسوعيًّا؛ وإذا رغبت في الاطِّلاع عليه فعليك الرجوع إلى المجلدات الكبرى الموثوق بها التي تركز كليًّا على مخاطر بعينها. وسوف أقتصر هنا على استعراض السمات الرئيسية للأخطار الطبيعية الكبرى استعراضًا أتمنى ألا يكون أوسع نطاقًا مما ينبغي، قبل أن أوضح أثرها الحالي والمستقبلي على مجتمعنا من منظور معين.

في أي مكان وأي وقت، تعطي الأرض وغلافها الجوي انطباعًا بأنهما مستقران وآمنان. غير أن هذه فكرة خاطئة تمامًا في ظل تعرُّض كوكب الأرض لنحو ١٤٠٠ زلزال يوميًّا، وثورة بركانية واحدة أسبوعيًّا. وكل سنة تتعرض المناطق الاستوائية إلى ما يصل




شكل ١-١: خريطة توضح صفائح الأرض مع بيان مواقع الكوارث الطبيعية التي وقعت مؤخرًا؛ تتوافق مواقع العديد من الكوارث الطبيعية مع الحدود الصفائحية.[1]




شكل ١-٢: يتكون الغلاف الصخري — الغلاف الخارجي الصُّلب للأرض — عند حيود وسط المحيط، ويتلاشى في مناطق الاندساس.[1]

إلى ٤٠ زوبعةً، وإعصارًا استوائيًّا، وإعصارًا حلزونيًّا، بينما تحدث الفيضانات والانهيارات الأرضية في كل مكان بأعداد تفوق الحصر.

مما لا شك فيه أن الفيضانات هي أشد المخاطر الطبيعية، وذلك من حيث عدد المتضررين الذي يبلغ ١٠٠ مليون شخص في السنة على أقل تقدير، وهو وضع من المرجَّح أن يستمر في ضوء المؤشرات المستقبلية بارتفاع مستويات سطح البحر وازدياد حدة هطول الأمطار. لا تفرق فيضانات النهر بين بلد وآخر على أساس ما تمتلكه من ثروة أو مكانة؛ فقد تفاقم ضررها في البلدان المتقدمة والنامية على حدٍّ سواء في شتى بقاع الأرض في السنوات الأخيرة. فمتى تساقط المطر غزيرًا أو بلا انقطاع، فلن يمر وقت طويل قبل أن تعجز مستجمعات الأنهار عن احتواء الجريان السطحي للماء، فتبدأ المياه في الانتشار عبر السهول الفيضية وخارجها. والواقع أن كثافة هطول الأمطار قد تبلغ معدلات مذهلة، ومن ذلك ما حدث عام ١٩٧٠ حيث كان نحو ٤ سنتيمترات من المطر يسقط في ستين ثانية فقط على جزيرة جوادلوب الكاريبية الفرنسية، وهو رقم قياسي عالمي. وعلى جزيرة فرنسية أخرى — جزيرة ريونيون في المحيط الهندي — تسبب أحد الأعاصير الحلزونية المارة بها في سقوط ما يقارب مترين من الأمطار خلال أربع وعشرين ساعة فحسب، وذلك في شهر مارس عام ١٩٥٢. ومع زيادة ازدحام سهول الفيضانات في جميع أنحاء العالم، زادت الخسائر في الأرواح والأضرار في الممتلكات نتيجة فيضانات الأنهار زيادةً هائلة. في ربيع عام ١٩٩٣، فاض نهرا المسيسيبي وميزوري فأغرقا تسع ولايات في الغرب الأوسط من الولايات المتحدة، ودمَّرا ٥٠ ألف منزل، وخلَّفا وراءهما أضرارًا بلغ مجموعها ٢٠ مليار دولار أمريكي. وفي خريف عام ٢٠٠٠، شهدت مناطق كثيرة من المملكة المتحدة فيضانات عارمة؛ حيث هطلت الأمطار بغزارة لم تشهدها البلاد منذ أكثر من ٣٠٠ عام، وكذا غرقت معظم أوروبا الوسطى أسفل مياه الفيضانات التي بلغت معدلات قياسية في صيف ٢٠٠٢. وتظل فيضانات الأنهار مصدر تهديد كبير في الصين؛ فقد تسببت في وفاة أكثر من خمسة ملايين شخص على مدى ١٥٠ عامًا مضت. أما بنجلاديش فأسوأ حالًا؛ إذ يغمر الماء ثلثَي مساحتها إما بسبب مياه الفيضانات التي تنهمر من نهر الجانج الكبير، أو بسبب المدود العاصفية الناشئة عن الأعاصير الحلزونية التي تصب ما تحمله من مياه من خليج البنغال داخل البلاد. تحصد الفيضانات الساحلية الناشئة عن العواصف في الأغلب أرواحًا تفوق أي كارثة طبيعية أخرى، حيث لقي نحو ٣٠٠ ألف شخص حتفهم في بنجلاديش عام ١٩٧٠، و١٥ ألف شخص في ولاية أوريسا شمال شرق الهند عام ١٩٩٩.

تشكل العواصف واحدةً من أكثر الأخطار الطبيعية تدميرًا بسبب قدرتها على إحداث الفيضانات، وأيضًا بسبب السرعة الهائلة للرياح المصاحبة لها. وعلاوةً على ذلك، وبسبب شيوعها في عددٍ من أكثر مناطق العالم ثراءً، فهي مسئولة عن وقوع بعض الكوارث الطبيعية الأكثر تكلفة على الإطلاق. تضرب الأعاصير المدارية سنويًّا منطقة البحر الكاريبي، ومنطقة الخليج، والولايات الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية، واليابان، في حين تزداد معاناة المملكة المتحدة وأوروبا القارية يومًا بعد يوم من العواصف الشتوية العاتية. في عام ١٩٩٢، اكتسح إعصار أندرو جنوب ميامي في واحدةٍ من أكثر الكوارث الطبيعية كلفة في تاريخ الولايات المتحدة؛ إذ أسفر عن وقوع خسائر بلغت ٣٢ مليار دولار أمريكي. وصلت سرعة الرياح المصاحبة لتلك العاصفة العاتية التي ضربت المدينة إلى ٣٠٠ كيلومتر في الساعة، وأبادت ٣٠٠ ألف مبنًى أو ألحقت بها ضررًا، وشرَّدَت ١٥٠ ألف شخص. وسجلت مواسم الأعاصير الأطلسية عامَي ٢٠٠٤ و٢٠٠٥ نشاطًا غير عادي؛ حيث ضربت ولايةَ فلوريدا ستةُ أعاصيرَ على مدى اثني عشر شهرًا فقط. أيضًا شهد موسم ٢٠٠٥ إعصار كاترينا، الذي تجاوز بكثيرٍ إعصار أندرو في قوَّته التدميرية؛ إذ أسفر عن مقتل الآلاف، في حين ترك ٨٠ بالمائة من مدينة نيو أورليانز غارقًا في مياه فيضاناتٍ وصل ارتفاعها إلى ٧ أمتار. ولا تقتصر العواصف المدمرة على المناطق المدارية؛ فالرياح التي تبلغ قوَّتها قوة الإعصار تحدث أيضًا مع أحوال الطقس ذات الضغط المنخفض عند خطوط العرض الوسطى. ولن ينسى الكثيرون من سكان جنوب إنجلترا «العاصفة الكبرى» التي ضربت بلادهم في شهر أكتوبر من عام ١٩٨٧، فأسفرت عن سقوط ملايين الأشجار بسبب الرياح التي كاد متوسط سرعتها يتساوى مع قوة الإعصار. وفي الآونة الأخيرة، وتحديدًا في عام ١٩٩٩، عانت فرنسا من محنة مماثلة؛ حيث ضربتها العاصفة الشتوية «لوثار»، وشقت طريقها عبر شمال البلاد. وعلى الجانب الآخر من المحيط الأطلسي، تتعرض مناطق الغرب الأوسط من الولايات المتحدة في كل عام لهجمة وحشية من الأعاصير، عبارة عن رياح دوارة شديدة وقوية تتشكل أثناء هبوب العواصف الرعدية في منطقة التقاء الهواء البارد الجاف القادم من الشمال، والهواء الدافئ الرطب القادم من المناطق المدارية. لا يمكن لأي مبنًى من صنع الإنسان أن يصمد أمام رياح يصل متوسط سرعتها إلى ٥٠٠ كيلومتر في الساعة، وعادةً ما يكون الضرر على طول مسار الإعصار هائلًا. مع أن الأعاصير القُمعية نادرًا ما تكون فتَّاكة مثل الزوابع، فإن ما يقرب من ١٥٠ إعصارًا قُمعيًّا خلال بضعة أيام فقط من شهر أبريل عام ١٩٧٤ أودت بحياة ما يزيد على ٣٠٠ شخص في ولايات كنتاكي، وتينيسي، وألاباما، وولايات أخرى مجاورة.

من بين ما يُسَمَّى بالمخاطر الجيولوجية — التي تشمل الزلازل والثورات البركانية والانهيارات الأرضية — فإن مما لا شك فيه أن الزلازل هي الأشد تدميرًا. في كل عام يقع نحو ٣٠٠٠ زلزال تصل قوته إلى ٦ درجات على مقياس ريختر المعروف، وهي قوة كبيرة بما يكفي لتسبب الكثير من الأضرار في الأرواح والممتلكات، خاصةً عندما تضرب المناطق السكانية غير المهيَّأة والمشيَّدة على أسس واهنة في البلدان النامية. وكما ذكرنا سابقًا، تقتصر معظم الزلازل الكبرى على مناطق بعينها تقع فوق حدود الصفائح. في السنوات الأخيرة، أسفرت التحركات المفاجئة لصدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا عن زلزالَين كبيرَين أحدهما وقع في سان فرانسيسكو (١٩٨٩)، والآخر في جنوب كاليفورنيا (١٩٩٤)، وقد تسبب الزلزال الثاني في خسائر بلغت قيمتها ٣٥ مليار دولار، وهي الكارثة الطبيعية الأكثر تكلفةً في تاريخ الولايات المتحدة. بعد عام واحد، ضرب زلزال بلغت قوَّته ٧٫٢ درجات على مقياس ريختر الحدَّ الغربي لصفيحة المحيط الهادي، ودمَّر مدينة كوبي اليابانية؛ ما أسفر عن مقتل ٦٠٠٠ شخص ووقوع خسائر اقتصادية بلغ مجموعها ١٥٠ مليار دولار أمريكي؛ وهي الكارثة الطبيعية الأكثر تكلفة على الإطلاق. وبعد أربع سنوات من فاجعة كوبي، انزلق صدع شمال الأناضول إلى شرقي إسطنبول، فأسفر عن وقوع زلزال مدمر أتى على مدينة إزميت والمناطق السكنية المجاورة، وأودى بحياة أكثر من ١٧٠٠٠ شخص. وفي السادس والعشرين من شهر ديسمبر عام ٢٠٠٣، ضرب زلزال متوسط (بلغت قوَّته ٦٫٦ درجات على مقياس ريختر) مدينة بام التاريخية في جنوب إيران فسوَّاها بالأرض موديًا بحياة ٢٦٠٠٠ شخص، وبعدها بعام واحد ضرب زلزال عنيف بقوة ٩٫١٥ درجات على مقياس ريختر الساحل الغربي لجزيرة سومطرة؛ مما أسفر عن تسونامي آسيا المدمر. إلا أن الزلازل الكبيرة قد تحدث أيضًا في أماكن بعيدة عن حدود الصفائح، وقد شهدتها مناطق شمال أوروبا وشرقي الولايات المتحدة الأمريكية، وهي ليست من المناطق المعرضة لأخطار زلزالية كبيرة. وآخِر هذه الزلازل الداخلية (التي تقع داخل الصفيحة نفسها على عكس التي تقع في الحد الفاصل بين الصفائح) دمَّر إقليم بهوج في ولاية جوجارات الهندية في يناير ٢٠٠١؛ حيث أتى بالكامل على ٤٠٠ ألف مبنًى، وأودى بحياة ما يقرب من ١٠٠ ألف شخص. وهناك حقيقة بَدَهِية يقولها مهندسو الزلازل؛ وهي أن المبانيَ لا الزلازل هي التي تودي بحياة الأفراد. وهذه هي الحال بلا شك، ويمكن أن نقلل كثيرًا من الخسائر في الممتلكات والأرواح لو أننا فعَّلنا قوانين البناء والتزمنا بها. ومع ذلك فالزلازل هي الأخرى مُهْلِكة نظرًا لما تسببه من انهيارات أرضية

نتيجة اهتزاز الأرض، ولما ينتج عنها من موجات تسونامي. وتنشأ موجات تسونامي عندما يتسبب أحد الزلازل في الحال في دفع مساحة كبيرة من أرض قاع البحر إلى الأعلى — ربما مترًا أو نحو ذلك — فيندفع الماء المُزاح بقوة إلى الخارج على شكل سلسلة أمواج. وعندما تدخل هذه الأمواج منطقة مياه ضحلة يزداد ارتفاعها — تصل في بعض الأحيان إلى ٣٠ مترًا أو أكثر — وتصطدم بالمناطق الساحلية بقوة بالغة. في عام ١٩٩٨، أُبيدت مدينة سيسانو والقرى المجاورة لها على الساحل الشمالي لبابوا غينيا الجديدة، ولقي ٣٠٠٠ شخص من سكانها حتفهم إما غرقًا وإما تقاذفتهم الأمواج بقوة هائلة حتى قتلتهم، وذلك حين ضربتها موجات تسونامي بلغ ارتفاعها ١٧ مترًا في غضون دقائق من وقوع زلزال داخل البحر.



شكل ١-٣: أنقاض مبنًى وحيدٍ هو كل ما تبقى من مدينة لام باكارانج في تايلاند في أعقاب تسونامي المحيط الهندي المدمِّر في السادس والعشرين من ديسمبر عام ٢٠٠٤.[2]

تختلف تقديرات عدد البراكين النشطة، ولكن عددها لا يقل عن ١٥٠٠ بركان وربما يزيد عن ٣٠٠٠ بركان. في كل عام يثور نحو ٥٠ بركانًا بعضها — مثل بركان كيلوا

في هاواي أو بركان سترومبولي في إيطاليا — يكاد يكون نشطًا باستمرار. ومع ذلك فهناك براكين أخرى هامدة منذ قرون أو في بعض الحالات منذ آلاف السنين، وهذا النوع هو الأكثر تدميرًا. وتَحْدُث أعنف البراكين عند حدود الصفائح الهدَّامة؛ حيث تبيد إحدى الصفيحتين الأخرى. ونادرًا ما يسفر ثوران هذه البراكين عن تدفقات هادئة من الحمم البركانية الحمراء، بل تطلق في الأغلب أعمدة هائلة من الرماد والحطام إلى مسافة تبلغ ٢٠ كيلومترًا أو أكثر داخل الغلاف الجوي. والرماد البركاني الذي تحمله الرياح فوق مناطق شاسعة يمكن أن يكون مدمرًا للغاية؛ إذ يعيق حركة السفر، ويتلف المحاصيل الزراعية، ويسمم الثروة الحيوانية، ويلوث موارد المياه. إن سقوط طبقة سُمكُها ٣٠ سنتيمترًا أو نحو ذلك من الرماد الرطب يكفي لانهيار السقوف، في حين أن العنصر الدقيق المكوِّن للرماد الجاف قد يسبب مشكلات في التنفس، ويصيب بأمراض مثل السُّحار السيليسي (أحد الأمراض الرئوية). قد يصل عمق الرماد المتراكم على مقربة من أحد البراكين الثائرة إلى عدة أمتار، وهو ما يكفي لدفن مبانٍ من طابق واحد. هكذا كان مصير قطاع كبير من بلدة رابول في جزيرة بريطانيا الجديدة (بابوا غينيا الجديدة) أثناء ثوران البركانَين التوءمَين فولكان وتافورفور عام ١٩٩٤. وعلى مدار سنوات بعد ثوران بركان بيناتوبو في الفلبين عام ١٩٩١، ظلت الطبقة السميكة من الرواسب الناجمة عن الحطام البركاني مصدرًا للتدفقات الطينية كلما مرَّ إعصار مداري وأسقط حمولته من المطر على المنطقة. وبعد مُضي ما يقرب من عَقد من الزمان، كان الطين المتدفق من البركان لا يزال يسد الأنهار، ويغرق المدن والأراضيَ الزراعية، ويُتلِف مصائد الأسماك والشعاب المرجانية. وغريبٌ بعض الشيء أن التدفقات الطينية تُعد هي الأخرى من أكثر الأسباب التي تودي بحياة الأشخاص في المناطق التي تنشط بها البراكين؛ ففي عام ١٩٨٥، حدثت ثورة طفيفة في بركان نيفادو ديل رويز في كولومبيا مارَّةً بمنطقة الجليد والثلوج، فأطلقت العنان لسيل من الطين لا يتناسب على الإطلاق مع حجم ثورة البركان، وهبط ذلك السيل على الوديان ليُفرِغ البركان ويدفن بلدة أرميرو ومعها ٢٣ ألفًا من سكانها.

جدير بالذكر أن المقذوفات البركانية أكثر ترويعًا وتدميرًا من التدفقات الطينية البركانية. وهذه المقذوفات التي تضارع قوَّتها قوَّة الأعاصير والتي تتكون من غازٍ متوهج، وشظايا حمم منصهرة، وكتل صخرية قد يساوي حجمها أحيانًا حجم بيت كامل، لديها القدرة على أن تمحوَ أي شيء في طريقها. في عام ١٩٠٢، وفي أسوأ كارثة بركانية شهدها القرن العشرون، تدفقت المقذوفات البركانية من بركان مونت بيليه في جزيرة مارتينيك

بالبحر الكاريبي لتبيد بلدة سانت بيير وكأنها ضُربت بقنبلة نووية؛ ففي غضون بضع دقائق لم ينجُ من سكان البلدة البالغ عددهم ٢٩ ألف نسمة تقريبًا سوى أربعة ناجين فقط. ولا يتوقف خطر البراكين عند هذا الحد؛ فسقوط كتل الصخور المنهارة من جوانب تلك البراكين قد تسفر عن حدوث موجات تسونامي هائلة، في حين أن بإمكان الأبخرة السامة أن تقتل آلاف البشر والحيوانات، وهو ما حدث بالفعل. أما الغازات البركانية التي تتصاعد إلى طبقة الستراتوسفير، ومن هناك تنتقل إلى سائر الكوكب، فقد غيرت المناخ، وتسببت في سوء الأحوال الجوية، وأتلفت المحاصيل، وسببت مشكلات صحية في النصف الآخر من العالم. وعلى صعيد أوسع نطاقًا، يمكن للانفجارات البركانية الهائلة أن تؤثر علينا جميعًا؛ وذلك عن طريق إغراق الكوكب كله في «شتاء بركاني» قارس البرودة وإتلاف المحاصيل في جميع أنحاء العالم.



شكل ١-٤: أطلال سانت بيير (جزيرة المارتينيك) بعد ثورة بركان جبل بيليه عام ١٩٠٢ التي لم ينجُ منها سوى أربعة من سكان مدينة سانت بيير.[3]

من بين جميع الأخطار الجيولوجية، ربما تحظى الانهيارات الأرضية بقدرٍ من الاهتمام أقل مما تستحق؛ ربما بسبب كونها عادةً نتيجةً لمخاطر أخرى، مثل وقوع زلزال أو طوفان؛ ومن ثَمَّ فالخسائر في الممتلكات والأرواح الناجمة عنها تُدرَج ضمن إجمالي

الخسائر التي تَسبب فيها الحدث الأساسي. ومع ذلك قد تكون الانهيارات الأرضية مدمرةً للغاية، سواءٌ وقعت فُرادى أو مع غيرها. في عام ١٥٥٦، ضرب زلزال كبير مقاطعة شنشي الصينية، فهز الأرض بقوة إلى الحد الذي انهارت معه أسطح عددٍ لا يُحصى من المنازل الكهفية، ليُحتجز بداخلها أكثر من ٨٠٠ ألف شخص (وفقًا للسجلات الرسمية). وفي عام ١٩٧٠ تسبب زلزال آخر في سقوط قمة جبل نيفادوس هواسكاران في جبال الأنديز البيروفية بالكامل لتسقط على البلدات الواقعة أسفله، وتوديَ بحياة ١٨ ألف شخص في أربع دقائق فقط، وتمحوَ أي أثر لوجودهم على وجه الأرض. والأمطار الغزيرة أيضًا يمكن أن تكون عاملًا مؤثرًا للغاية في إحداث انهيارات أرضية؛ فعندما تسبب إعصار ميتش في هطول أمطار وصلت غزارتها إلى ٦٠ سنتيمترًا على أمريكا الوسطى في ٣٦ ساعة عام ١٩٩٨، فإنه تسبب في تحريك أكثر من مليون انهيار أرضي في هندوراس وحدها؛ مما أدى إلى قطع الطرق، ودفن الأراضي الزراعية، وتدمير المجتمعات السكنية.

أما التهديد الأخير — ولعلَّه الأشد — لحياة الناس ومعاشهم فلا يأتي من داخل الأرض، بل من الخارج. فمع أن القصف المستمر لكوكبنا بواسطة أجزاء كبيرة من الحطام الفضائي قد انتهى قبل مليارات السنين، فغنه لا يزال خطر الكويكبات والمذنبات قائمًا، ويتزايد أخذه على محمل الجد يومًا بعد يوم. وتشير التقديرات الأخيرة إلى أن نحو ألف كويكب بأقطار تتراوح بين كيلومتر وأكثر لديها مدارات حول الشمس تقترب من مدار الأرض أو تتقاطع معه؛ مما يجعل الاصطدام أمرًا محتملًا في مرحلةٍ ما في المستقبل، وتشمل هذه المجموعة العديد من الأجرام التي يبلغ قطرها كيلومترَين وأكثر. إذا ضرب جِرم بهذا الحجم كوكبَنا، فسيؤدي إلى دخولنا في «شتاء كوني»؛ وذلك بسبب الغبار الذي سيتصاعد إلى طبقة الستراتوسفير ويحجب الإشعاع الشمسي، وربما يقضي هذا على رُبع سكان الأرض أو نحو ذلك. لقد تجدَّد الاهتمام بخطر اصطدام الأرض بجِرم فضائي نتيجة حدثين علميين مهمين شهدهما العقد الماضي؛ أولًا: العثور على حفرة اصطدام كبرى في تشيككسولوب قبالة شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك، وهذه الحفرة يُنظر إليها الآن على أنها السبب الرئيسي وراء الإبادة الجماعية العالمية التي شهدتها نهاية العصر الطباشيري. وثانيًا: التصادمات المذهلة عام ١٩٩٤ لشظايا المذنب شوميكر-ليفي مع كوكب المشتري. فأقل ما يقال عن صور ذلك الاصطدام التي انطلقت في جميع أنحاء العالم موضحة آثار الاصطدام التي تفوق في حجمها حجم كوكبنا أنها كانت مربكة، وقد أثارت تلك الصور تساؤلًا في العديد من الدوائر؛ ماذا لو كانت الأرض مكان المشتري؟

## نحن والأخطار الطبيعية

إذا لم تكن على علم سابق بحجم الخطر اليومي الذي تفرضه الطبيعة علينا، فإنني آمل أن يكون لديك الآن التقدير الكافي للإمكانات التدميرية للكوارث الطبيعية التي كُتب على الكثيرين من سكان كوكبنا أن يواجهوها على أساس شبه يومي. تقدِّر شركة إعادة التأمين ميونيخ ري — التي تولي هذه الظواهر اهتمامًا بالغًا لأسبابٍ لا تخفى على أحد — أن نحو ١٥ مليون شخص لقُوا حتفهم في الألفية الماضية بسبب الكوارث الطبيعية، وأكثر من ٣٫٥ ملايين شخص في القرن الأخير وحده. وفي نهاية الألفية الثانية بعد الميلاد بلغت كلفة تلك الكوارث على الاقتصاد العالمي مستويات غير مسبوقة، وفي عام ١٩٩٩ تسببت العواصف والفيضانات في أوروبا والهند وجنوب شرق آسيا، إلى جانب الزلازل العنيفة في تركيا وتايوان، والانهيارات الأرضية المدمرة في فنزويلا، في مصرع ٧٥ ألف شخص، ووقوع خسائر اقتصادية قيمتها ١٠٠ مليار دولار أمريكي. وفي عام ٢٠٠٤، جاءت الإحصاءات أكثر إحباطًا؛ نظرًا لوقوع كارثة تسونامي في المحيط الهندي، إلى جانب الزلازل التي شهدتها المغرب واليابان، والعواصف التي لم يسبق لها مثيل في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان، والفيضانات التي اجتاحت آسيا؛ إذ أسفرت كل هذه الكوارث عن وفاة ثُلث مليون شخص، ووقوع خسائر اقتصادية بلغت ١٤٥ مليار دولار أمريكي.

وقد شهدت العقود الثلاثة الأخيرة من القرن العشرين كلٌّ على حدة معاناة نحو مليار شخص بسبب الكوارث الطبيعية. وللأسف فإنه ما من دليل على تضاؤل تبعات تلك الكوارث على المجتمعات البشرية نتيجة التطورات التي شهدتها آليات التنبؤ، وتظل نتيجة الصراع مع الجانب المظلم من الطبيعة بمنأًى عن الحَسم. ومع أننا صرنا نعرف الكثير الآن عن الأخطار الطبيعية، وعن الآليات التي تقف وراءها، وتبعاتها الوخيمة في بعض الأحيان، فإن أي فائدة من هذه المعرفة تتلاشى جزئيًّا على الأقل بسبب ازدياد تعرُّض قطاعات كبيرة من سكان الأرض لتلك الأخطار. ويتمثل السبب الرئيسي وراء ذلك في الزيادة الهائلة في تعداد سكان العالم الذي تضاعف بين عامَي ١٩٦٠ و٢٠٠٠. ومعظم هذه الزيادة كان من نصيب البلدان النامية الفقيرة؛ حيث الكثير منها أكثر عرضة لمجموعة كاملة من الأخطار الطبيعية. وعلاوةً على ذلك، فقد أسفر الصراع على المجال الحيوي عن تزايد استغلال الأراضي الحدية، مثل سفوح الجبال، والسهول الفيضية، والمناطق الساحلية في الزراعة والسكن. ولا شك أن هذه المناطق يتهددها خطر كبير، وأنها

أكثر عرضة على التتالي للانهيارات الأرضية، والفيضانات، والمدود العاصفية، وموجات تسونامي.

وهناك عامل رئيسي آخر وراء زيادة التعرُّض لتلك الأخطار في السنوات الأخيرة، ألا وهو التحول نحو التحضر والتمدن في أكثر المناطق عرضة للخطر في العالم النامي. في عام ٢٠٠٧، وللمرة الأولى على الإطلاق، سيزداد عدد من يعيشون في بيئات حضرية عن هؤلاء الذين يعيشون في المناطق الريفية؛ حيث يتكدس الكثيرون في مدن كبرى أُسِيءَ اختيار مواقعها وشُيِّدت على أسس واهنة في ظل زيادة عدد السكان عن ٨ ملايين نسمة. قبل أربعين عامًا كانت نيويورك ولندن تتصدران قائمة المدن الأعلى كثافة سكانية؛ حيث بلغ تعداد السكان فيهما ١٢ مليونًا و٨٫٧ ملايين نسمة بالترتيب. ومع ذلك فمن المتوقَّع أنه في عام ٢٠١٥ ستحتل مدن مثل مومباي (بومباي سابقًا، الهند)، ودكا (بنجلاديش)، وجاكارتا (إندونيسيا)، ومكسيكو سيتي المراكزَ العشرة الأولى (الجدول ١-١) حيث التجمعات البشرية الهائلة التي يقترب تعدادها من ٢٠ مليون نسمة أو أكثر، والتي هي الأكثر عرضة لويلات العواصف والفيضانات والزلازل. يقع ٩٦٪ من بين إجمالي الوفيات الناجمة عن الكوارث الطبيعية والتدهور البيئي في البلدان النامية، ولا يوجد حاليًّا أي احتمال لانخفاض هذه النسبة، بل الواقع يشهد أن الوضع قد يزداد سوءًا؛ ففي ظل تكدُّس أعداد السكان في الأماكن المتداعية والمعرضة لأخطار كبيرة (معظمها في مواقع ساحلية معرضة لأخطار الزلازل، وموجات تسونامي، والعواصف، والفيضانات الساحلية)، لن يمر وقت طويل قبل أن نشهد أول سلسلة من الكوارث الكبرى وسقوط ضحايا يتجاوز عددهم مليون نسمة.

لا شك أن الصورة التي رسمتُها هنا صورة قاتمة، لكن الواقع قد يكون أسوأ من ذلك؛ فالزيادة المستقبلية في تعداد السكان وزيادة التعرُّض للأخطار سوف تحدث على خلفية تغيُّر هائل في المناخ لم يشهده كوكبنا ربما منذ ١٠ آلاف سنة. ما زلنا نجهل تحديدًا التبعات الخطيرة لظاهرة الاحترار السريع والمتوقَّع على مدى المائة عام القادمة، لكن أحدث تقرير صادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (٢٠٠١) تنبأ بحدوث ارتفاعات في مستوى سطح البحر قد تتجاوز ٨٠ سنتيمترًا. وهذا بالتأكيد سيؤدي إلى زيادة وقوع المدود العاصفية، وأمواج تسونامي، وزيادة مستوى تآكل السواحل في مناطق بعينها، وأيضًا زيادة تبعات تلك الكوارث. ومن بين تبعات ارتفاع درجة الحرارة التي قد تزيد عن ٦ درجات مئوية بحلول نهاية القرن وقوعُ أحداث غير مألوفة في حالة

جدول ١-١: المدن العشر المتوقَّع أن تكون الأعلى من حيث الكثافة السكانية عام ٢٠١٥ (المصدر: الأمم المتحدة).

| المدينة | عدد السكان (مقدرًا بالمليون نسمة) |
|---|---|
| طوكيو (اليابان) | ٣٦,٣ |
| مومباي (الهند) | ٢٢,٦ |
| نيودلهي (الهند) | ٢٠,٩ |
| مكسيكو سيتي (المكسيك) | ٢٠,٦ |
| ساو باولو (البرازيل) | ٢٠,٠ |
| نيويورك (الولايات المتحدة الأمريكية) | ١٩,٧ |
| دكا (بنجلاديش) | ١٧,٩ |
| جاكارتا (إندونيسيا) | ١٧,٥ |
| لاجوس (نيجيريا) | ١٧,٠ |
| كالكوتا (الهند) | ١٦,٨ |

الجو، مثل الزوابع، والأعاصير القُمعية، والفيضانات، وأعداد أكبر من الانهيارات الأرضية في المناطق الجبلية، وأخيرًا المزيد من الثورات البركانية (انظر الفصل التالي).

هل العالم الذي نعرفه على شفا النهاية إذنْ؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف سيحدث ذلك؟ هل سنلهث وراء المياه بعد قرن من الآن في عالم يزداد جفافًا؟ أم سنحتشد حول عدد قليل من العِصِي المشتعلة في محاولةٍ بائسة للابتعاد عن البرد القارس للشتاء الكوني؟ سوف نتعرض لمثل هذه الاحتمالات بمزيد من التفصيل في الفصل التالي.

## حقائق جديرة بالتفكُّر

- كانت الأرض في فجر تاريخها مكسوَّة بمحيطٍ من الصهارة درجةُ حرارته — ٥٠٠٠ درجة مئوية — شبيهة بدرجة حرارة عدد من أكثر النجوم برودة.
- تتحرك الصفائح التكتونية لكوكب الأرض بالمعدل نفسه الذي تنمو به أظافرنا.
- عدد الزلازل التي تضرب كوكبنا يوميًّا يبلغ نحو ١٤٠٠ زلزال.

- هناك نحو ٣٠٠٠ أو أكثر من البراكين النشطة أو التي يُحتمل أن تنشط، يثور منها نحو خمسين بركانًا كل عام.
- تتعرض المناطق الاستوائية سنويًّا لنحو ٤٠ أو أكثر من الزوابع، والأعاصير الاستوائية، والأعاصير الحلزونية.
- في عام ١٥٥٦، أسفر زلزالٌ واحد في مقاطعة شنشي الصينية عن وفاة أكثر من ٨٠٠ ألف شخص.
- وقعت ١٥ مليون حالة وفاة على الأقل في الألفية الماضية بسبب الكوارث الطبيعية.
- ٩٦٪ من إجمالي الوفيات الناجمة عن الكوارث الطبيعية والتدهور البيئي تحدث الآن في البلدان النامية.

## هوامش

(1) *Apocalypse*, Cassell, 1999.

(2) Tiziana Rossetto.

(3) © Mary Evans Picture Library.

الفصل الثاني

# الاحترار العالمي

## كثير من الهواء الساخن؟

### جدال؛ أيُّ جدال؟

لا يقتصر مفهوم الاحترار العالمي على فصول صيفٍ أكثر حرارة، وفيضانات في فصل الشتاء، وما تطلقه الأبقار من غازات. ليس هناك أدنى شك في أن حرارة الأرض ترتفع بسرعة، ولا يختلف في هذا سوى قلة من علماء المناخ. يكمن الخلاف فيما إذا كان الاحترار الذي نشهده الآن يعكس ببساطةٍ تحوُّلًا طبيعيًّا في الاتجاه الذي تسلكه درجة الحرارة العالمية مؤخرًا، أم أنه بسبب التلوث الناجم عن الأنشطة البشرية منذ أن وَجدت الثورة الصناعية لنفسها موطئ قدم راسخًا. الأمر الذي أراه غير مسئول بالمرة هو أن هذا الخلاف لا يزال يُطرح — على الأقل في بعض الدوائر — وكأنه معركة بين مدرستين فكريتين علميتين متكافئتَي الحجم وعلى القدر نفسه من الإقناع، في حين أن حقيقة الأمر أبعد ما تكون عن ذلك. إن التنبؤ بتغيُّر المناخ أمر صعب للغاية، وهو ما يفسر السبب وراء خضوع النماذج الخاصة بارتفاع درجات الحرارة وتغيرات مستوى سطح البحر في المستقبل للمراجعة المستمرة، لكن الدليل الآن دامغ؛ فالأنشطة التي يقوم بها البشر هي المحرك للفترة الحالية من الاحترار العالمي.

باستثناء عدد قليل من العلماء المنشقين عن السرب، والمدافعين عن شركات النفط، ورئيس أكثر الدول تلويثًا للعالم، هناك إجماع كاسح بين من يدركون حقائق الأمور على أن الوضع سيزداد سوءًا ما لم نقلل من انبعاثات الغازات الدفيئة. ومن المثير للدهشة أن هناك من لا يزال يُقلل من شأن هذا الاحتمال ويُخفيه عمدًا وراء ستار من التشويش،

وآخر هؤلاء — في رأيي — الإحصائي الدانماركي الواهم بيورن لومبورج؛ ففي كتابه الذي لاقى نقدًا واسعًا «البيئي المتشكك»، يسخر لومبورج من ظاهرة الاحترار العالمي وأثرها في المستقبل، وفي الوقت نفسه — وعن طريق الإشارة إلى أبحاث علمية انتقائية للغاية — يَخْلُص إلى استنتاجٍ مفادُه أن العالم على ما يرام. إذا كنت قد قرأت هذا الكتاب، وتملكك شعورًا زائفًا بالأمان من رسالته التي تبث في النفس شعورًا بالرضا وبعدم الحاجة لفعل أي شيء، فاسمح لي أن أعيدك إلى الواقع عن طريق سردِ قليلٍ من الحقائق ذات الصلة.

على مدار السنوات السبعين الماضية، كانت الأرض أكثر سخونة مما كانت عليه في أي وقت آخر خلال الألفية الماضية، وقد تسارع الاحترار تسارعًا كبيرًا في العقود القليلة الماضية. لا شك أنَّ لدى كلٍّ منا واحدًا على الأقل من الأقارب المسنين الذين يعودون بالذكرى دائمًا إلى وقتٍ كانت فيه فصول الصيف أكثر حرارة، والسماء أكثر زرقة. ومع ذلك تُظهر سجلات الأرصاد الجوية أن هذه مجرد ذاكرة انتقائية؛ فالواقع يشهد أننا منذ عام ١٩٨٠ قد شهدنا ١٩ سنة من أكثر السنوات سخونة، بينما شهدت أواخر تسعينيات القرن العشرين أكثر الأعوام دفئًا في جميع أنحاء الكوكب ككل. الأرض الآن أكثر دفئًا مما كانت عليه لأكثر من ٩٠ بالمائة من تاريخها الذي يمتد ٤٫٦ مليارات عام، وبحلول نهاية القرن الحادي والعشرين قد يشهد كوكبنا ارتفاعًا في درجات الحرارة أكثر مما كان عليه في أي وقتٍ على مدار ١٥٠ ألف سنة ماضية.

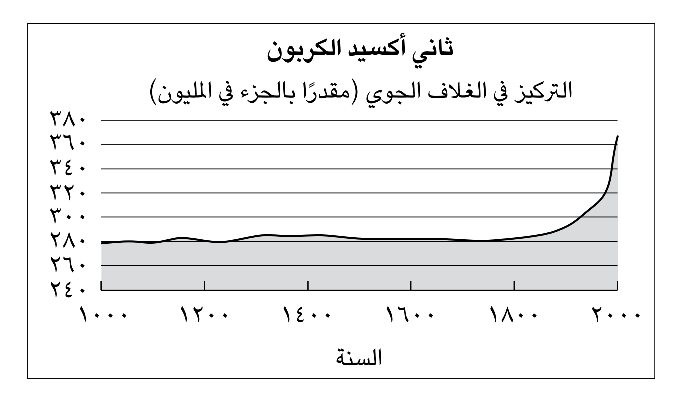
الحرارة المتزايدة التي نشهدها الآن ليست حدثًا مناخيًّا عارضًا، ولا يمكن أن تفسَّر بالكامل — كما يحاول البعض أن يفعل — على أساس حدوث اختلافٍ فيما ينبعث عن الشمس، وإن كان من الواضح أن لهذا تأثيرًا كبيرًا على المناخ. بدلًا من ذلك، فإن هذه الحرارة المتزايدة هي نتيجة قرنَين من التلوث الذي صار الآن يغلف الأرض بغلاف عازل من ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز، وغيرها من الغازات الدفيئة. منذ أواخر القرن الثامن عشر والجنس البشري منخرط في تجربة كوكبية عملاقة لا ندري شيئًا عن نتيجتها النهائية سوى تخمينات. وللأسف فإن تلك التجربة قد دخلت الآن مرحلة جموح، وبسبب القصور الذاتي لا يسعنا أن نوقفها على الفور، لكن يمكننا أن نبطئ من سرعتها فحسب. وحتى لو استطعنا أن نثبِّت انبعاثات الغازات الدفيئة اليوم، فسوف تستمر درجات الحرارة ومستويات مياه البحار في الارتفاع لعدة مئات من السنين. والسؤال المهم هنا: هل لدينا العزم على القيام بهذا أم سنفرُّ من المشكلة ويهتم

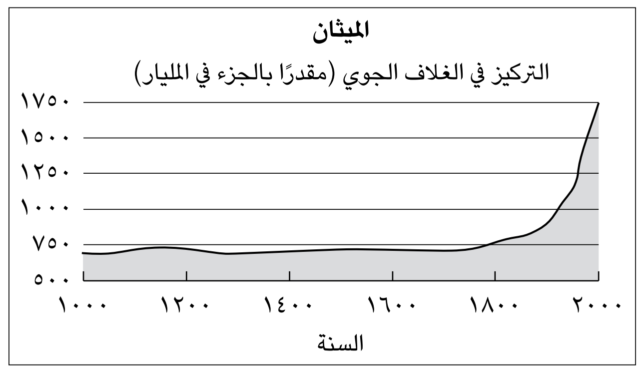
كل واحد منَّا بنفسه فقط وإن هلك الآخرون؟ دعونا نتوجه إلى المختبر لنرى كيف تسير الأمور.

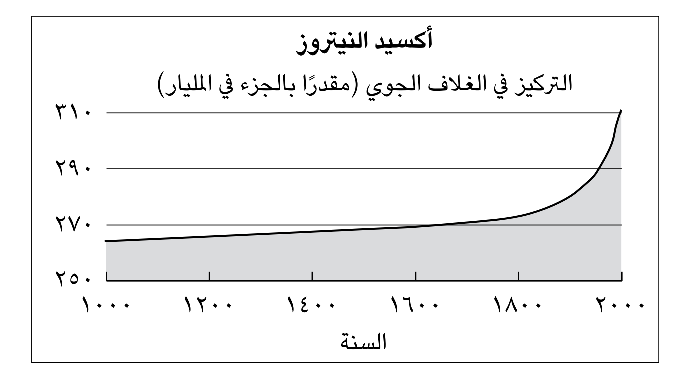
## التجربة الكبرى للاحترار العالمي

نعلم من الدراسات التي أُجريت على عينات الجليد القطبي أنه قبل اكتشاف قوة البخار واستخدام المعادن إيذانًا بحلول العالم الصناعي، كانت تركيزات الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي ثابتة للغاية منذ انحسار الأنهار الجليدية في نهاية العصر الجليدي الأخير. ومع ذلك فإنه منذ عصور ما قبل الصناعة، ارتفعت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة ٣٠ بالمائة، إلى جانب الزيادات الكبيرة في الغازات الدفيئة الأخرى، لا سيما الميثان وأكسيد النيتروز. تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي الآن أعلى مما كانت عليه طوال ٤٢٠ ألف عام على الأقل، وربما الأعلى خلال العشرين مليون سنة الماضية. أضف إلى هذا أن معدل الزيادة في الغاز وصل إلى مستوًى غير مسبوق، وكان خلال السنوات المائة الأخيرة أكبر من أي وقتٍ مضى طوال ما لا يقل عن العشرين ألف سنة الماضية. أما نتاج القرن العشرين من غازات ملوِّثة أخرى، مثل مركبات الكلوروفلوروكربون والهيدروفلوروكربون، فإنها لم تكن حتى موجودة في الغلاف الجوي منذ قرنَين من الزمان. ومع تراكُم هذه الغازات في الغلاف الجوي للأرض فإنها جعلت منه — حرفيًّا — صوبة زجاجية تسمح بدخول حرارة الشمس إلى الأرض وتعيق عودتها إلى الفضاء. الواقع أن هذا كان حال الغلاف الجوي للأرض لمليارات السنين؛ يُحدث توازنًا في درجات الحرارة ويَحُول دون تطرفها، لكن التلوث الآن يعزز كثيرًا أثر الصوبة الزجاجية هذا، والنتيجة أن حرارة الأرض بدأت ترتفع تدريجيًّا طوال فترة طويلة من القرن الماضي.

مع ذلك، ولأن آلية عمل المناخ معقدة جدًّا، لا يمكن النظر إلى تأثير واحد بعينه، والعديد من العوامل الأخرى تؤثر في درجات حرارة العالم. أبرز تلك العوامل ما يَصدُر عن الشمس، وهو أيضًا متغير مع مرور الوقت، ويجب أن يؤخذ بعين الاعتبار قبل أن نعزوَ ارتفاع درجات الحرارة فقط إلى تراكم الغازات الدفيئة التي يتسبب فيها البشر. تتبع الشمس نمطًا منتظمًا من النشاط مدته أحد عشر عامًا يُعرف باسم «دورة البقع الشمسية»، وخلال تلك الفترة يختلف نتاج الشمس بنحو ٠٫١ بالمائة. يتغير الناتج الشمسي أيضًا على مدى فترات أطول تتراوح بين مئات إلى عشرات الآلاف من السنين،



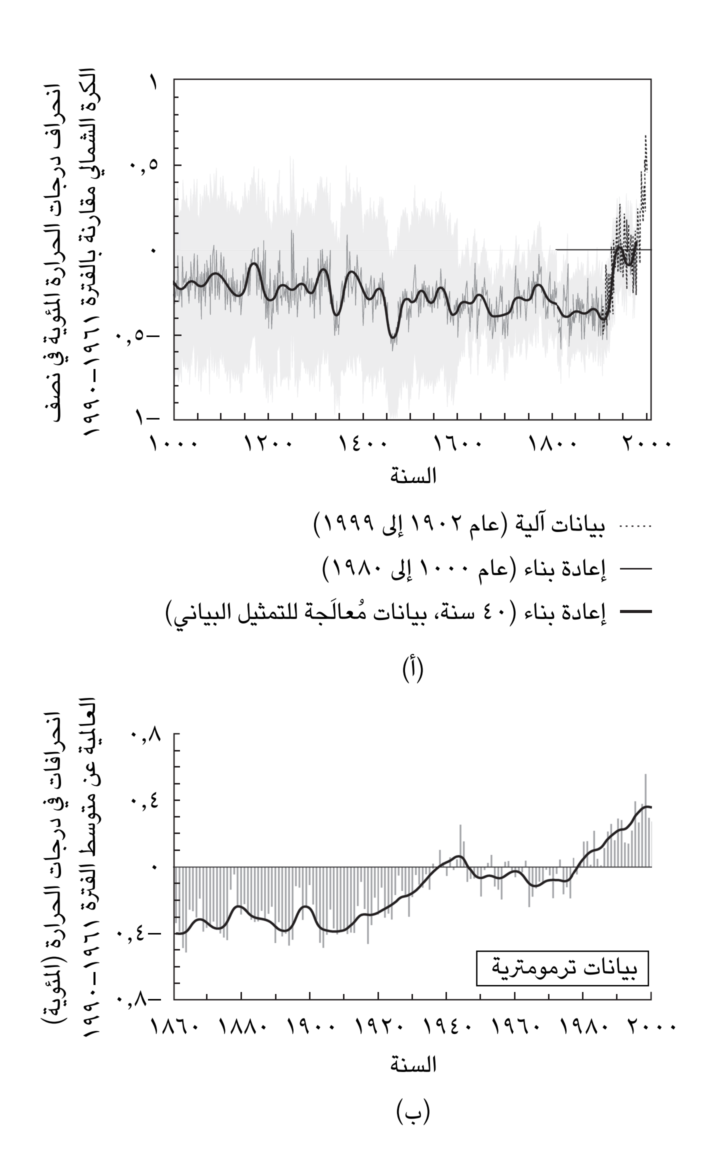




شكل ٢-١: شهدت تركيزات الغازات الدفيئة زيادة هائلة منذ الثورة الصناعية.

وهذه الفترات قد تؤدي دورًا مهمًّا في تبريد كوكب الأرض أو رفع درجة حرارته، وأيضًا — في القرون الأخيرة — في تعديل أو إخفاء تأثير الغازات الناتجة عن أنشطة البشر. وكما سنتناول بمزيد من التفصيل في الفصل الرابع، قد يكون للثورات البركانية أيضًا تأثير كبير في تغير مناخ الأرض. ومع أن الصورة المفصَّلة أكثر تعقيدًا إلى حدٍّ ما، فإن الثورات البركانية الكبرى تُطلِق كميات هائلة من ثاني أكسيد الكبريت وغازات الكبريت الأخرى إلى طبقة الستراتوسفير، يكون لها تأثير تبريدي واسع النطاق من خلال خفض مستوى الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض. وقد حدث انخفاض كبير في درجات الحرارة العالمية — وإن لم يدم طويلًا — إثر ثوران بركان تشيشون (المكسيك) عام ١٩٨٢ وبركان بيناتوبو (الفلبين) عام ١٩٩١. وأحيانًا تتضافر جهود البراكين والشمس معًا لتسفر عن تغيرات مناخية طويلة الأمد. على سبيل المثال، ظهر أثر الارتباط بين انخفاض نتاج الشمس وزيادة النشاط البركاني في موجة البرد التي ضربت العالم في القرون الوسطى، والتي يطلِق عليها علماء المناخ اسم العصر الجليدي الصغير. وقد استمرت تلك الفترة منذ نحو عام ١٤٥٠ بعد الميلاد إلى نحو نهاية القرن التاسع عشر، وشهدت تكوُّن الصقيع على نهر التيمز، وفصول شتاء قارسة البرودة في بقاعٍ كثيرة من العالم.

من الصعب محاولة تحديد الاختلاف الحقيقي في درجات الحرارة العالمية على مدى الألف سنة الماضية، لا سيما أن الأرقام المسجلة عن فترة ما قبل القرنَين الماضيَين ليست جديرة بالثقة على الإطلاق. وهناك مشكلة أخرى مصدرها حقيقة أن ارتفاع الحرارة في جزءٍ من العالم لا يمنع أن يكون هناك جزء آخر تنخفض درجة حرارته. وإحدى الحجج التي لا يزال يستخدمها معارضو فكرة أن الإنسان هو سبب ظاهرة الاحترار العالمي أن العالم قد شهد انخفاضًا ظاهرًا في درجات الحرارة بين عامَي ١٩٤٦ و١٩٧٥؛ ومن ثَمَّ يدحضون فكرة أن النسب المرتفعة من الغازات الدفيئة لا بد أن تسفر تلقائيًّا عن ظاهرة الاحترار العالمي. غير أنه بالنظر الدقيق إلى الأرقام المسجلة في هذه الفترة، يتبيَّن لنا أنه مع أن معظم نصف الكرة الشمالي قد انخفضت حرارته انخفاضًا ملحوظًا، فالعكس قد حدث في نصف الكرة الجنوبي الذي ارتفعت درجة حرارته ارتفاعًا ملحوظًا. الواقع أنه بالرغم من الانخفاض الكلي الطفيف في درجة الحرارة في ذلك الوقت، فإنه الآن يُعزى إلى حَجْب الاحترار بسبب غازات الكبريت المنبعثة من الثورات البركانية والصناعات الثقيلة التي كانت حينها غير مقيدة بقوانين الهواء النقي. الخبر السيئ أن هذا الحجب —




شكل ٢-٢: ارتفاع درجة الحرارة على مدار (أ) الألف سنة الماضية و(ب) المائة والأربعين سنة الماضية.[1]

الذي يشار إليه الآن باسم التعتيم أو الإظلام العالمي — قد يعني أن درجات الحرارة من شأنها أن ترتفع بما يفوق التوقعات السابقة. وفي كل الحالات — وبالرغم من هذا الأمر العارض — تُظهِر السجلات الموثقة أن درجات الحرارة العالمية كانت تتبع مسارًا صاعدًا لا حيْد عنه منذ بدء توثيق هذه السجلات عام ١٨٦١. وتشير السجلات أيضًا إلى أن تسعينيات القرن العشرين كانت العقد الأكثر دفئًا منذ منتصف القرن التاسع عشر، وأن عام ١٩٩٨ كان أشد الأعوام حرارةً على الإطلاق. وفي أوروبا، ضربت ظاهرة الاحترار العالمي البلاد في صيف ٢٠٠٣، وذلك عندما سجلت درجات الحرارة رقمًا قياسيًّا في أنحاء القارة لتتسبب في وفاة ٣٥ ألف شخص.

إذا كانت تجربتنا الجليلة قد صُممت خصوصًا لرفع درجة حرارة الكوكب، فاستنادًا إلى النتائج المتحققة حتى الآن، يبدو أننا نستطيع تهنئة بعضنا بعضًا لأننا أحسنَّا القيام بتلك المهمة، والاسترخاء بينما تعمل التجربة من تلقاء نفسها لتزيد درجةَ الحرارة وتأخذنا إلى قائمة متزايدة من العواقب غير المتوقعة. لكن بالطبع لم يكن هذا هو مقصد التجربة على الإطلاق. الواقع أنه في العقود الأخيرة فحسب، بدأ التفكير في التأثير الملوِّث للأنشطة البشرية على البيئة العالمية. ولم تكن التجربة الجليلة قط سوى أثر جانبي لتعطُّش الجنس البشري المستمر للحصول على المزيد؛ مزيد من النمو، ومزيد من السلع، ومزيد من الثروة. والآن بعد أن اتضح لنا أن ما فعلناه — لا إراديًّا بالطبع — كان عبثًا بالأداء الطبيعي للأرض، لم يعد أمامنا أي خيار سوى إنهاء تلك التجربة. إن استمرار المماطلات السياسية وزيادة تعقيد الموقف العلمي من قِبل أصحاب المصالح المعادين لمقترحات التخفيف من ظاهرة الاحترار العالمي؛ قد أدَّيا إلى إخفاق بروتوكول كيوتو — بالرغم من التصديق عليه — في تحقيق هدفه، وهو خفض انبعاثات الغازات الدفيئة العالمية بنسبة ٥٫٢ بالمائة (أدنى من نسب عام ١٩٩٠) خلال الفترة ٢٠٠٨–٢٠١٢. وهذا الإخفاق سببه في الأساس دول — مثل الولايات المتحدة وأستراليا — رفضت التوقيع على البروتوكول أو حتى الالتزام بِنِسب التخفيض الضئيلة التي نادى بها. وفي ظل الحاجة إلى تقليل الانبعاثات بنسبة ٦٠ بالمائة إذا أردنا حدوث انخفاض حقيقي في التركيزات المتزايدة للغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، فالمستقبل يبدو مظلمًا حقًّا.

لأننا نشبه كثيرًا من يحاول الانعطاف بناقلة نفط عملاقة، فإن القصور الذاتي الهائل المتراكم في المنظومة لا يزال يعني أنه حتى لو عدنا إلى رشدنا وعملنا على تقليل الانبعاثات بنسب كبيرة في السنوات القليلة المقبلة، فستستمر درجات الحرارة ومستويات

البحار في الارتفاع قرونًا قادمة؛ لذلك يبدو أننا لا محالة في طريقنا لمواجهة تغيرات هائلة في بيئتنا؛ بعضها نحو الأفضل، لكن معظمها ليس كذلك. المؤكد أن أطفالنا وأحفادهم سوف يجدون الأرض مكانًا مختلفًا جدًّا عما هي عليه الآن.

## الدفيئة الأرضية

لن يكون العالم عام ٢١٠٠ ميلاديًّا أكثر سخونة بكثير فحسب، لكنه سيشهد أيضًا تطرفات في الطقس من شأنها — على أقل تقدير — أن تجعل حياة مليارات من البشر أكثر إزعاجًا بكثير. وبالفعل، فإن أنماط الطقس الجامحة التذبذب التي يراها العديد من المراقبين إحدى نتائج الاحترار العالمي، جنبًا إلى جنب مع زيادة التعرض للخطر في العالم النامي؛ يؤديان إلى زيادة هائلة في أعداد الكوارث الجوية. ففي تقرير الكوارث العالمية لعام ٢٠٠٤، كشف الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر عن أن الأرقام السنوية للكوارث الناجمة عن العواصف، والفيضانات، والانهيارات الأرضية، والجفاف قد ارتفعت من نحو ٢٠٠ كارثة قبل عام ١٩٩٦ إلى أكثر من ٧٠٠ كارثة في السنوات القليلة الأولى من الألفية. قليلون هم من يعتقدون أن الوضع سيتحسن، لكن الاحتمالات قائمة بأن الأمور ستسوء تدريجيًّا.

سوف يعاني سكان المناطق الساحلية المنخفضة — أكثر فأكثر — من ارتفاع مستويات سطح البحر وزيادة هطول الأمطار التي ستجعل الفيضانات المهلكة هي القاعدة وليس الاستثناء. في المقابل، سيزداد عدد من يتضورون جوعًا نظرًا لقلة الأمطار السنوية عامًا بعد عام، وستقع مناطق شاسعة من أفريقيا وآسيا فريسةً للجفاف والمجاعات المترتبة عليه. وقد قدَّم لنا صيف ٢٠٠٥ لمحة عما قد يصبح قاعدة؛ حيث الأمطار الموسمية التي لم يسبق لها مثيل التي أغرقت مدينة مومباي الهندية بفيضانات أودت بحياة أكثر من ١٠٠٠ شخص، بينما تسبب الجفاف الذي استمر طويلًا في تجويع أكثر من ٤ ملايين شخص — رُبعهم من الأطفال — في دولة النيجر الواقعة غرب أفريقيا. يبدو أيضًا أن الأرض سوف تكون أكثر تعرضًا للرياح؛ إذ تثير البحار الأكثر دفئًا هبوب عواصف أكثر عددًا وأشد تأثيرًا، لا سيما في المناطق الاستوائية. سنعود لتناول الآثار الخطرة المتعددة لظاهرة الاحترار العالمي لاحقًا، لكن دعنا الآن نُلقِ نظرة على أحدث التوقعات المرتبطة بارتفاع درجات الحرارة خلال المائة عام القادمة؛ ففي النهاية، هذا هو العنصر الحاسم الذي من شأنه أن يحرك التغيرات الهائلة التي ستشهدها بيئتنا في هذا القرن وما بعده.

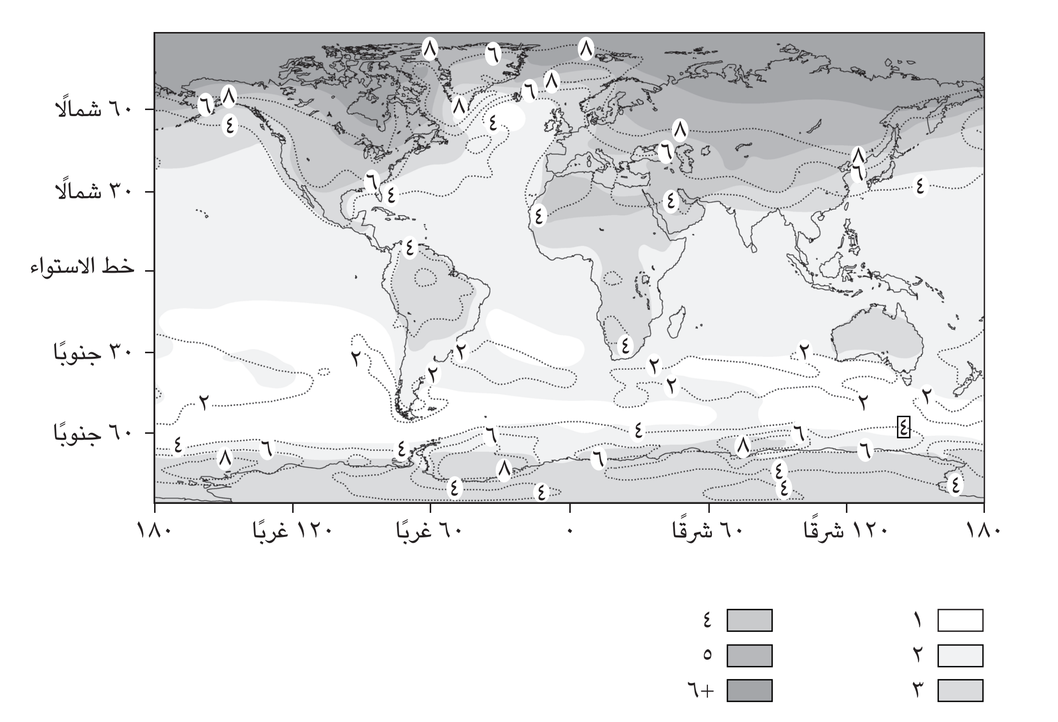
في عام ٢٠٠١، نشرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ «تقرير التقييم الثالث» بشأن ظاهرة الاحترار العالمي في ثلاثة مجلدات ضخمة يربو مجموع صفحاتها على ٢٦٠٠ صفحة. تأسست الهيئة عام ١٩٨٨ من قِبل برنامج الأمم المتحدة للبيئة، والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وهو مختص بتقديم إجماعٍ للرأي العلمي جدير بالاعتماد فيما يتعلق بالتغير المناخي، وذلك باستخدام أفضل الخبرات المتاحة. الكلمة التي تهمنا هنا هي «إجماع للرأي»؛ فقد شارك أكثر من ١٠٠٠ عالِم إما في كتابة التقرير وإما في مراجعة محتواه؛ مما يبدد أيَّ شك في صحته إلا لدى المتشككين اللاعقلانيين، أو أصحاب النظرة التفاؤلية الدائمة، أو أصحاب النظرة المكيافيلية الخالصة. ولو جاز لنا أن نلخص مضمون التقرير الثالث الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في بضع كلمات، لربما قلنا: «هل قلنا في تقرير التقييم الثاني إن الوضع سيكون سيئًا؟ حسنًا، لقد كنا مخطئين؛ فالوضع سيكون أسوأ من ذلك بكثير.»

دعونا نُلقِ نظرة على ما تقوله الهيئة حول ارتفاع درجات الحرارة. فعلى مدار القرن الماضي، ارتفعت درجات الحرارة العالمية بمقدار ٠٫٦ درجة مئوية. وبحلول عام ٢١٠٠، يَتوقع أسوأ سيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن درجات الحرارة ستكون أعلى مما هي عليه الآن بنحو ست درجات مئوية. حتى السيناريو المعتدل يتوقع أننا سنشهد حرًّا قائظًا نتيجة ارتفاع درجة الحرارة ٤ درجات مئوية. إذا بدت لك هذه النسبة ضئيلة، فاعلم أن ٤ أو ٥ درجات مئوية تعني الفرق بين ظروف العصر الجليدي وظروف مناخنا الحالي؛ وقد تضمَّن الانتقال بين الوضعين حدوث تغيرات هائلة في بيئة الأرض، ليس فقط في المناخ والطقس ولكن أيضًا في الحياة النباتية والحيوانية.

لدينا كل الأسباب التي تجعلنا نتوقع أنه بينما يتضاعف الارتفاع في درجة حرارة ما بعد العصر الجليدي مرة أخرى، سوف نشهد تغيرات جذرية مماثلة لما حدث من قبل. لكن هذه المرة هناك نوعان من الاختلافات المهمة؛ أولًا: سيكون على كوكب الأرض توفير غذاء وكساء ودعم لعدد ٦٫٥ مليارات نسمة، لا بضعة ملايين كما كانت الحال في المرة الأولى. ثانيًا: يحدث الارتفاع المشابه في درجة الحرارة اليوم على مدار مائة سنة فقط بدلًا من آلاف السنين. والعديد من تبعات هذا الارتفاع الهائل في درجات الحرارة العالمية بات واضحًا، لكن هناك تبعات أخرى أقل وضوحًا. والمناطق القطبية والجبلية التي يوجد بها ثلوج وجليد دائم تعاني الآن بالفعل، وسيظل الارتفاع في درجات الحرارة يُلحِق خسائر فادحة بتلك المناطق. فعلى مدى المائة سنة الماضية حدث انحسار هائل للأنهار

الجليدية الجبلية في جميع أنحاء العالم، في حين بدأ جليد القطب الشمالي يتضاءل كثيرًا منذ خمسينيات القرن العشرين، والنتيجة أن القطب الشمالي خلا من الجليد في صيف عام ٢٠٠٠. وعلاوةً على ذلك، فإن مساحة الجليد البحري في القطب الشمالي في فصلَي الربيع والصيف أقل بنسبة ١٠–١٥ بالمائة مما كان عليه قبل ٤٠ عامًا، في حين أن جليد البحيرات والأنهار في المناطق المرتفعة في نصف الكرة الشمالي ينصهر الآن خلال فصل الربيع قبل أسبوعين مما كان عليه قبل قرن مضى. أما الغطاء الجليدي الربيعي في نصف الكرة الشمالي فهو أقل بنسبة ١٠ بالمائة عن متوسط الفترة ١٩٦٦–١٩٨٦، وتشير توقعات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن المناطق القطبية والجبلية من نصف الكرة الأرضية قد ترتفع درجة الحرارة فيها ٨ درجات مئوية بحلول عام ٢١٠٠. في عام ٢٠٠٤، كان تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ٣٨٠ جزءًا في المليون. وحتى لو تمكَّنَّا — في وقتٍ ما في المستقبل — من تثبيت هذا التركيز عند ٤٥٠ جزءًا في المليون، فستستمر درجات الحرارة في الارتفاع، وإن كان بمعدلٍ أكثر بطئًا إلى ما بعد عام ٢٣٠٠.

تسفر الزيادة الهائلة في معدل ذوبان الثلج والجليد عن ارتفاع مستويات البحار؛ إذ تشير بيانات قياس المد والجزر إلى أن مستويات البحار العالمية قد ارتفعت بنسبة تتراوح بين ١٠ و٢٠ سنتيمترًا خلال القرن العشرين، ويُتوقع أن يتزايد هذا الارتفاع كثيرًا في المائة سنة القادمة، مع توقع ارتفاع مستويات البحار بمقدار ٤٠ سنتيمترًا، وربما تزيد على ٨٠ سنتيمترًا بحلول عام ٢١٠٠. ومعظم الزيادة الأخيرة والمتوقَّعة سببها التمدد الحراري للمحيطات الذي يحدث نتيجة سخونة مياهها أو نتيجة ما يضاف إليها من مياه الأنهار الجليدية الجبلية السريعة الذوبان. ومع ذلك فإن الإخفاق في تقليل انبعاث الغازات الدفيئة قد يؤدي في المستقبل إلى ذوبانٍ كارثيٍّ لألواح الجليد في كلٍّ من جزيرة جرينلاند وأنتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية)، وهو ما ستكون له تبعات وخيمة على المناطق الساحلية. وتتوقع أسوأ سيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ اختفاء الصفيحة الجليدية في جرينلاند، وهو ما سيسفر عن ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار ستة أمتار بحلول عام ٣٠٠٠. الأخطر من ذلك أنه بالرغم مما تبدو عليه الصفيحة الجليدية في أنتاركتيكا من استقرار في الوقت الحاضر، فإن الاحترار الشديد الذي ستشهده القرون القليلة المقبلة قد يؤدي إلى تفككها واختفائها إلى الأبد. فاحتمال انهيار وذوبان الصفيحة الجليدية في أنتاركتيكا خلال القرنَين القادمَين قد يبلغ




شكل ٢-٣: متوسط التغيُّر السنوي في درجات الحرارة بين الآن وعام ٢١٠٠ (جميع درجات الحرارة مقدرة بالدرجة المئوية).[1]

١ إلى ٢٠. إذا ما حدث ذوبان كامل للصفيحة الجليدية سواء في جرينلاند أو أنتاركتيكا، فستجد كلُّ المدن الساحلية الكبرى في العالم نفسَها تحت الماء. وحتى لو لم يحدث ذلك، فإن تبعات ارتفاع مستوى البحر خلال المائة سنة القادمة ستكون مدمِّرة للبلدان المنخفضة. على سبيل المثال، ارتفاع سطح البحر مترًا واحدًا سيغمر جزر المالديف التي تقع في المحيط الهندي تحت الماء، في حين أنه من المتوقع أن ارتفاع مستوى سطح البحر جنبًا إلى جنب مع انخفاض سطح الأرض سيسفر عن ارتفاع سطح البحر ١,٨ متر في بنجلاديش في غضون نحو خمسين عامًا فقط. وسيؤدي ذلك إلى فقدان نسبة كبيرة من سطح الأرض تبلغ ١٦ بالمائة، ويعيش عليها ١٣ بالمائة من السكان.

ستزيد الفيضانات الساحلية أيضًا بسبب المدود العاصفية؛ حيث يُتوقع أن يرتفع عدد المتضررين منها بما يصل إلى ٢٠٠ مليون شخص بحلول عام ٢٠٨٠. ونظرًا لأن استجابة المحيطات للتغير بطيئة جدًّا، فإن مشكلة ارتفاع مستوى سطح البحر لن تختفيَ في الحال. فحتى إذا نجحنا في تثبيت نسبة الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند التركيزات الحالية، فسيستمر مستوى سطح البحر في الارتفاع مدة ألف سنة أو أكثر.

اعتدنا أن نلقيَ بلائمة جميع الكوارث الطبيعية المرتبطة بالمناخ على ظاهرة الاحترار العالمي. ومع أنه لا يمكننا أن نعزيَ عاصفة بعينها أو فيضانًا بعينه إلى ارتفاع درجة الحرارة، فهناك أدلة متزايدة على وقوع أعداد أكبر من الظواهر الجوية المتطرفة. وقد زادت حوادث هطول الأمطار بنسبة تصل إلى أربعة بالمائة عند خطوط العرض العليا والمتوسطة خلال النصف الثاني من القرن العشرين، ويُتوقع أن يكون هناك المزيد من العواصف الممطرة والفيضانات والرياح العاصفة. ومن المرجح أن تزيد حدة الخصائص المناخية الحالية؛ إذ تزداد رطوبة المناطق الرطبة، بينما تعاني المناطق الجافة من الجفاف فترات طويلة ومتواصلة؛ ولذلك فإن أوروبا الشمالية والمملكة المتحدة ستواجهان مزيدًا من الفيضانات، في حين ستبدأ صحاري شمال أفريقيا في الزحف نحو جنوب أوروبا، وسوف تعاني أستراليا من درجات حرارة حارقة. ومن المرجح أن تصبح المنطقة التي يطلق عليها «زقاق الأعاصير» في المحيط الأطلسي أكثر نشاطًا خلال نصف القرن القادم، وقد أشار بحث نُشر عام ٢٠٠٥ إلى أن تلك الأعاصير المدارية قد تضاعفت قوَّتها التدميرية على مدى العقود الثلاثة الماضية. ويتوقع هذا البحث كذلك أن جزر الكاريبي والمناطق الجنوبية الشرقية وسواحل الخليج في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وهونج كونج — من بين أهداف أخرى — قد تتعرض لكوارث متزايدة خلال السنوات المقبلة. حتى



شكل ٢-٤: مدينة نيو أورليانز غارقة تحت المياه في أعقاب إعصار كاترينا الذي تسبب في أفدح الخسائر على الإطلاق.[2]

الآن، ليس هناك سوى قلة من الناس على استعداد للمجازفة بالقول بأن ما يحدث قطعًا سببه ظاهرة الاحترار العالمي. ومع ذلك، فبما أن بعضهم قد اقترح أن ارتفاع درجة حرارة سطح البحر هي السبب الرئيسي وراء تلك العواصف العاتية، يمكننا الإشارة إلى علاقة منطقية؛ فظاهرة الاحترار العالمي تعني ارتفاع درجة حرارة مياه البحار، وهذا بدوره من المرجح أن يُسفر عن عواصف أكثر عددًا وأشد قوة. بما أن المياه الاستوائية في المحيط الأطلسي قد ارتفعت درجة حرارتها على مدى السنوات الخمس الماضية فإن معدل تكوين الأعاصير قد تضاعف. في الوقت نفسه نجد أن العواصف تزداد قوة بزيادةٍ قدرُها ٢٥٠ بالمائة، تصاحبها رياح تتجاوز سرعتها ١٧٥ كيلومترًا في الساعة. وفي ظل توقُّع استمرار ارتفاع درجات الحرارة في المحيطات طوال القرن الحادي والعشرين، يبدو مستقبل ساكني منطقة «زقاق الأعاصير» قاتمًا؛ فحيث تهب الرياح، تتبعها الأمواج غالبًا، وما يتكشف من أدلةٍ الآن يشير إلى أن الأمواج ستكون أوسع نطاقًا وأشد تأثيرًا. فحول السواحل الغربية والجنوبية للمملكة المتحدة، زاد ارتفاع الأمواج العادية — البالغ نحو ٣ أمتار — بمقدار يزيد على المتر مقارنةً بما كان عليه الأمر قبل ثلاثة عقود، في

حين ازداد ارتفاع أكبر الأمواج بمقدار ٣ أمتار كاملة ليصل إلى ١٠ أمتار. ومع أن العلماء لم ينسبوا زيادة ارتفاع الأمواج مباشرة إلى ظاهرة الاحترار العالمي، فإن تلك الزيادة تعكس التغيرات في أنماط الطقس في شمال المحيط الأطلسي، التي يمكن ربطها بدورها بإعادة تنظيم منظومة الطقس على سطح كوكبنا في ظل استمرار ارتفاع درجة الحرارة. أما تآكل السواحل فيسفر عن أضرار بالغةٍ الآن بالفعل على طول قطاعات كثيرة من السواحل الأكثر عرضة للخطر في المملكة المتحدة؛ وهو وضع من المرجَّح أن يزداد سوءًا ويتفاقم حتمًا بسبب ارتفاع منسوب مياه البحار والعواصف.

يبدو أيضًا أن ظاهرة الاحترار العالمي تؤدي إلى زيادة تكرار ظاهرة النينو؛ ثاني أكبر «إشارة» مناخية بعد فصول السنة. وتتضمن ظاهرة النينو ضعفًا في الرياح التجارية الغربية، وما ينتج عنه من هجرة لمياه السطح الدافئة من الغرب إلى شرق المحيط الهادي، فتدمر مصائد الأسماك المحلية وتُحدث خللًا في المناخ العالمي. وقد زادت وتيرة هذه الظاهرة غير الملحوظ أثرها من: مرة واحدة كل ست سنوات خلال القرن السابع عشر، إلى مرة كل ٢٫٢ سنة منذ سبعينيات القرن العشرين، ويقال إن الاحترار العالمي هو السبب وراء ذلك.

ومع استمرار ارتفاع درجة حرارة الأرض، يبدو أن تبعات ذلك لن تقتصر على البحار والسماء، بل ستمتد إلى قشرة الأرض. وارتفاع درجات الحرارة الآن في المناطق الجبلية مثل جبال الألب وجبال البرانس تسفر بالفعل عن ذوبان الطبقة الدائمة التجمد عند المرتفعات؛ مما يهدد القرى والمدن ومنتجعات التزلج بالمزيد من الانهيارات الأرضية الأشد تدميرًا. ونظرًا لأن ذوبان الجليد يُضعِف الجبال، فسوف تشهد سويسرا المزيد من الانهيارات الصخرية، والانهيارات الأرضية، والتدفقات الطينية، وربما تسوء الأمور كثيرًا عن هذا؛ فقد تنهار جبال بأكملها تتألف من مليارات الأطنان من الصخور، لتدفن مجتمعات سكانية بأكملها تحت أكوام هائلة من الصخور. وعلى مدى ١٠٠–١٥٠ سنة ماضية، ارتفعت درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة أو درجتين مئويتين، وربما تزداد وتيرة ذلك؛ ففي الجبال التي تعلو منتجع التزلج السويسري سان موريتس — على سبيل المثال — ارتفعت درجة الحرارة بمقدار نصف درجة مئوية في غضون الخمس عشرة سنة الماضية. واستمرار ارتفاع درجات الحرارة بهذا المعدل قد يزعزع قمم الجبال في جميع أنحاء العالم؛ مما سيجعل حياة سكان المناطق الجبلية العالية أكثر صعوبة وخطرًا. وقد أشار أحد زملائي — الدكتور سايمون داي — أن زيادة هطول الأمطار

على براكين الجزر المحيطية قد تؤدي إلى انهيارات أرضية مهولة يمكن أن تسفر بدورها عن أمواج تسونامي عاتية في المحيطين الهادي أو الأطلسي، وهو ما سنتناوله بالتفصيل في الفصل الرابع.

من الواضح إذنْ أن إحدى التبعات الرئيسية لظاهرة الاحترار العالمي أن يصبح العالم أكثر خطورة؛ بحيث لن ينجوَ منه سوى قليلين. وها هي الأوضاع تزداد سوءًا بالفعل، لا سيما على طول السواحل المنخفضة والجزر؛ ففي تسعينيات القرن العشرين، لقي أكثر من ٤٠ بالمائة من سكان جزر سليمان حتفهم أو أصيبوا بأضرار بالغة بسبب العواصف والفيضانات. والوضع لا يختلف كثيرًا في الدول الجزرية المنخفضة الأخرى جنوب غرب المحيط الهادي مثل تونجا وميكرونيزيا. فخلال الفترة نفسها، تعرض شخص من بين ١٢ شخصًا في أستراليا، وشخص من بين ٢٠٠ شخص في الولايات المتحدة الأمريكية، وشخص من بين ٢٠٠٠ شخص في المملكة المتحدة لإحدى الكوارث الطبيعية. تلك مجرد بداية فحسب؛ ففي السنة الأولى من الألفية الجديدة، تضرر أكثر من ٢٠٠ مليون شخص من الكوارث الطبيعية — الفيضانات، والعواصف، والجفاف في الأغلب — وهي نسبة هائلة تساوي واحدًا إلى ثلاثين من سكان الكوكب؛ كل هذا والاحترار العالمي لم يصل إلى أَشُدِّه بعد. مما لا شك فيه أننا جميعًا سنُضطر إلى تقبُّل الكوارث الطبيعية باعتبارها جزءًا طبيعيًّا — وإن كان بغيضًا — من حياتنا في العقود المقبلة. وعلاوةً على ذلك، لا تقتصر تبعات ظاهرة الاحترار العالمي على زيادة تعريض كوكب الأرض للكوارث الطبيعية؛ فنحن على موعد مع تغيرات أخرى جذرية وواسعة النطاق لن يقل تأثيرها على حياتنا عن تأثير الكوارث الطبيعية. سوف تتلقى الاقتصادات القومية ضربات قاسمة، وسيتفكك نسيج مجتمعنا العالمي مع تزايد المشكلات المحيطة بالزراعة، وإمدادات المياه، والحياة البرية، وصحة الإنسان.

قلة من الدول ستتمكن من التأقلم إلى حدٍّ ما مع ذلك الوضع، لكن من المؤكد أن وتيرة التغيير ستبلغ حدًّا من السرعة يجعل ذلك مستحيلًا أمام الدول الأكثر تعرُّضًا للخطر في آسيا، وأفريقيا، وأماكن أخرى في العالم النامي. في ظل زيادة الكثافة السكانية، وتدنِّي الدخول، وزيادة التلوث، ما من شك في أن تأثير الاحترار العالمي سوف يكون مأساويًّا. ومن أكبر المشكلات التي سنواجهها النقصُ الحادُّ في المياه. في الوقت الحالي، يعيش ١٫٧ مليار شخص — أي ثُلث سكان العالم — في بلدان تفتقر إلى ما يكفيها من المياه الصالحة للشرب، وسيرتفع هذا الرقم ليجاوز ٥ مليارات شخص في غضون

٢٥ عامًا فقط؛ وهو ما سيشعل الصراع حول المياه في معظم أنحاء آسيا وأفريقيا. وإلى جانب هذا، من المتوقَّع أن ينخفض ناتج المحاصيل في المناطق المدارية وشبه المدارية، والكثير من المناطق القريبة من خطوط العرض المتوسطة؛ مما سيؤدي إلى اتساع رقعة الصحاري، ونقص الغذاء، وظهور المجاعات. وسيؤدي الصراع على الغذاء والماء إلى الهجرة الاقتصادية بأعدادٍ مهولة تفوق أي شيء نراه الآن؛ وهو ما سيؤدي بدوره إلى زعزعة الاستقرار ونشوب الصراعات في أجزاء كثيرة من العالم.

في أوروبا وآسيا تورق الأشجار في فصل الربيع قبل أسبوع من موعدها الذي كانت عليه قبل ٢٠ عامًا فقط، بينما يحل الخريف متأخرًا عن موعده عشرة أيام. قد يبدو هذا في ظاهره مفيدًا، لكنه سيشجع أيضًا حشرات جديدة على الانتقال إلى مناطق معتدلة المناخ لم تكن لتظهر فيها من قبل. وقد أنشأ النمل الأبيض بالفعل قاعدة في جنوب المملكة المتحدة، بينما ارتفعت درجات الحرارة في بعض الأماكن إلى الحد اللازم لبقاء وتكاثر البعوض الناقل للملاريا. أما في المناطق المدارية، فسيكون هناك ارتفاع هائل في عدد الأشخاص المعرَّضين لخطر الإصابة بالأمراض التي تنقلها الحشرات، خاصة الملاريا وحُمى الضَّنك، في حين أن ندرة مياه الشرب ستفتح الباب أمام تفشِّي الكوليرا بين الصغار والمسنين والضعفاء. أما في المناطق الحضرية فستبدأ حرارة الصيف القائظة وزيادة التلوث في إلحاق أذًى بالغٍ بصحة الإنسان، لا سيما في المجتمعات الفقيرة؛ حيث تنعدم فرص استخدام أجهزة تبريد الهواء. في ظل ارتفاع درجات حرارة الأرض عبر كل القارات حتى ٨ درجات مئوية بحلول نهاية القرن، ستبدأ الغابات المعتدلة والمدارية — التي تساعد حاليًّا على امتصاص الغازات الدفيئة — في الفناء، وستفنى معها آلاف الأنواع الحيوانية التي ستعجز عن التكيف مع الظروف الجديدة. والأمر لا يقتصر على الغابات؛ فالمراعي، والأراضي الرطبة، والشعاب المرجانية، والجزر المرجانية، والمستنقعات الاصطناعية، والنظم الإيكولوجية القطبية والألبية الحساسة ستلقى صعوبة بالغة في البقاء والتكيف، والكثير منها سيعجز عن ذلك. حتى الأنشطة التي نمارسها في أوقات فراغنا ستتأثر؛ إذ لن يقف الأمر عند تعرُّض جنوب أوروبا لجفاف شديد لا يصلح معه إنتاج محاصيل الحبوب، لكنه سيصل أيضًا إلى حدٍّ من ارتفاع درجة الحرارة — خلال أشهر الصيف على الأقل — لا يناسب الباحثين عن دفء الشمس. ويبدو مستقبل قطاع الرياضات الشتوية قاتمًا أيضًا في ظل احتمال ذوبان معظم الأنهار الجليدية الجبلية بحلول نهاية القرن، وفي ظل تضاؤل تساقط الثلوج كثيرًا. أما فيما يتعلق بالتنوع

البيولوجي — وبواحدة من القطاعات السياحية — فلعل أسوأ التوقعات التي أُعلن عنها مؤخرًا أن جميع الشعاب الكبيرة سوف تفنى في غضون خمسين عامًا؛ وبعض أكبر العجائب الطبيعية في العالم ستختفي بفعل ارتفاع درجة حرارة البحار، وذلك فقط من أجل أن يتسنَّى لبعضنا الاستمرار في حياة الاستهلاك والترف أو النضال من أجلها.

كل ما تناولتُه إلى الآن إما أمور تقع بالفعل، وإما أمور تنبأَتْ بها نماذج مناخية فعالة من تصميم أجهزة الكمبيوتر تخضع لتحديث مستمر في محاولة لتحسين التنبؤ بما تخبئه لنا ظاهرة الاحترار العالمي في جعبتها. ومع ذلك يجب علينا أن نكون على استعداد دائم، وأن نتوقع ما لا يُتوقع؛ سواء العواقب الوخيمة التي تُعتبر حتى الآن ممكنة لكن ليست مرجحة، أو غيرها مما لم يخطر ببالنا. في الفصل القادم من هذا الكتاب سنتناول إحدى هذه القضايا بمزيد من التفصيل؛ وهي إمكانية وجود جزيرة باردة في إقليم شمال المحيط الأطلسي وسط عالم شديد الحرارة. إلا أنني هنا أريد أن أثير احتمالًا مخيفًا آخر، وهو أن التغيرات الكبيرة في مستوى سطح البحر بسبب ظاهرة الاحترار العالمي قد تؤدي إلى وقوع مزيد من الثورات البركانية، ومزيد من الزلازل، ومزيد من الانهيارات الأرضية العملاقة. هل يبدو هذا جنونًا؟ تشير الأدلة من الماضي إلى أن هذا وارد تمامًا. عندما كانت مستويات البحر ترتفع بسرعة بعد نهاية العصر الجليدي الأخير منذ ١٠ آلاف سنة، يبدو أن وزن الماء على الحوافِّ القارية كان له تأثير كبير؛ مما تسبب في ثوران البراكين، وتحرُّك الصدوع النشطة، ووقوع انهيارات أرضية ضخمة في مناطق الجرف القاري. كان متوسط معدل ارتفاع مستوى سطح البحر خلال أوقات ما بعد العصر الجليدي حوالي سبعة مليمترات في السنة، وهو يقارب الارتفاع الذي يمكن أن نراه إن وقع الغطاء الجليدي في جرينلاند أو الغطاء الجليدي في غرب منطقة القطب الجنوبي فريسة في آخر الأمر لظاهرة الاحترار العالمي.

المشكلة أننا لا نعرف مدى الضخامة أو السرعة التي ينبغي أن يحدث بها ذلك الارتفاع حتى تظهر تلك الآثار مرة أخرى، مع أنه مما يثير الاهتمام أن بركان بافلوف في ألاسكا يُستثار للانفجار في الشتاء عندما تتسبب أحوال الطقس ذات الضغط المنخفض التي تمر فوق البحر في رفع مستوى البحر بمقدار بضع عشرات من السنتيمترات. وحينها لعلنا لن نواجه مستقبلًا دافئًا فحسب، بل مستقبلًا ملتهبًا. وهناك مخاوف أخرى؛ فتراكم الغازات بسبب تحلل المخلفات العضوية سيؤدي إلى تشكيل ما يُسَمَّى بهيدرات الغاز في الرواسب البحرية. وهيدرات الغاز هذه موادٌّ صُلبةٌ تتألف من الميثان

تشبه جليد الماء، وتكون حالتها الفيزيائية حساسة جدًّا للتغيرات في درجة الحرارة. وارتفاع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة فقط قد يسبب تفككًا سريعًا للمادة الصُّلبة فتصير في حالة غازية، فتمارس ضغطًا متزايدًا على الرواسب المحيطة؛ مما قد يؤدي إلى زعزعة الاستقرار وانهيار كتلة ضخمة من الرواسب. وقد قيل إن هذه العملية ربما تكون السبب في حدوث انهيارَيْ ستوريجا — زوج من الانهيارات الأرضية البحرية العملاقة قبالة ساحل جنوب النرويج — في ظل ارتفاع درجة حرارة الأرض الذي بدأ منذ ٨٠٠٠ سنة مضت. وقد أدى ذلك الانهيار إلى حدوث موجات تسونامي ضخمة تدفقت عبر شمال شرق اسكتلندا، وتركت رواسب رملية داخل الطبقات السميكة في الخُثِّ المستنقعي. إذا استمر الاحترار العالمي دون عائق على مدى القرون القليلة القادمة، فسيبدو كما لو أن ذلك سيكون بداية لأحداث مثيرة جدًّا.

## الحلول ما بين الجيد والسيئ والجنوني

لا مفر لأحد على هذا الكوكب من آثار ظاهرة الاحترار العالمي؛ فالتدهور البيئي الناتج سيجعل الحياة أمام المليارات أشد صعوبة بكثير مما هي عليه الآن. لقد فات الآن أوان تدارُك الأمور، لكن يمكننا على الأقل أن نحاول التخفيف من أسوأ آثار الاحترار العالمي. والسؤال: هل سنتمكن يومًا ما من إيجاد إجماع دولي يتيح لنا أن ننجح في فعل ذلك ولو نسبيًّا؟ عام ١٩٩٧ منَحَنَا بروتوكول كيوتو بعض الأمل؛ إذ كان هدفه تقليل نسب انبعاثات الغازات الدفيئة العالمية (لتكون دون نسب عام ١٩٩٠) بنسبة ٥٫٢ بالمائة، وذلك خلال الفترة من عام ٢٠٠٨ إلى عام ٢٠١٢. ومع ذلك، وبالرغم من تصديق روسيا عام ٢٠٠٥ على البروتوكول، فإن رفض الولايات المتحدة الأمريكية التوقيع عليه ترتَّب عليه أننا لم نتقدم حتى الآن من المربع رقم واحد. بل إن الواقع يشهد أننا صرنا في وضع أسوأ مما كنا عليه. فبدون توقيع الولايات المتحدة على البروتوكول، فإن الانبعاثات التي تخرج من جميع الدول الصناعية معًا قد ترتفع بنحو ١٢ بالمائة بحلول الفترة من عام ٢٠٠٨ إلى عام ٢٠١٢، التي تفوق حتى العديد من التوقعات حول «بقاء الوضع على ما هو عليه». إن تحدثنا عن انبعاثات الغازات الدفيئة، فالأمور تزداد سوءًا ولا تتحسن. من الصعب أن نرى كيف يمكن أن يتحسن هذا الوضع قبل أن تقتنع الولايات المتحدة — أكبر ملوث في العالم؛ إذ ينبعث منها رُبع الغازات الدفيئة — جنبًا إلى جنب مع شريكتها التي لا تقل ضلوعًا في الجريمة — أعني أستراليا — بالانضمام إلى بقية المجتمع

الدولي في محاولة معالجة المشكلة. إنْ تحدثنا عن حكومات الدول، فأنا شخصيًّا أشك في أن طريقة الإقناع الوحيدة التي يمكن أن تنجح هي وقوع كوارث مستمرة تضرب مدن الولايات المتحدة التي تقع في الشرق وعلى ساحل الخليج، وذلك في صورة أعاصير تزداد قوة، أو ربما جفاف يضرب أستراليا مدة عشر سنوات. لكنْ هناك خبران سارَّان من الولايات المتحدة. في شهر أغسطس من عام ٢٠٠٥، وقَّع ١٧٧ عُمْدة — منهم عُمَد نيويورك ولوس أنجلوس وشيكاجو وميامي — على اتفاقية حماية المناخ التي وضعها عمدة سياتل، والتي تفرض على المدن المشاركة السعيَ لتحقيق أهداف بروتوكول كيوتو أو تحقيق ما هو أفضل منه. وفي الشهر نفسه، اتفقت مجموعة تتألف من تسع ولايات في شمال شرق الولايات المتحدة — من بينها نيويورك ونيو جيرسي وماساتشوستس — على تثبيت انبعاثات الغازات الدفيئة عند النسب الحالية، بهدف تقليصها بنسبة ١٠ بالمائة بحلول عام ٢٠٢٠. وهذه بالتأكيد خطوة صغيرة، لكنها خطوة في الاتجاه الصحيح.

كلما استمر الاحترار العالمي في الاستحواذ على الاهتمام، زاد سماعنا عما أسميه التحوُّل إلى الحلول التقنية. وبعض اقتراحات أصحاب هذا التوجه للتخفيف من ظاهرة الاحترار العالمي غريبة وحمقاء، مثل وضع عاكسات عملاقة في الفضاء لتحويل الإشعاع الشمسي بعيدًا عن الأرض، بل ومنها ما هو أكثر إغراقًا في الخيال؛ حيث اقترحوا تحويل مسار مُذَنَّب أو اثنين بعيدًا عن الأرض، وذلك باستخدام الجاذبية لأرجحة الكوكب ليسير في مدار أبعد عن الشمس. إلا أن بعض الأفكار هي خيارات علمية مدروسة بعناية يمكن تطبيقها في المستقبل إذا خرجت الأمور عن السيطرة. ومن تلك الأفكار طرق لاستخدام المحيطات كمقلب لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، إما عن طريق التخلص منه ماديًّا في أعماق المحيطات عبر خطوط الأنابيب والناقلات، أو عن طريق بذر المحيط بالحديد لتشجيع نمو الكائنات البحرية الدقيقة التي تستخلص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. وقد أظهرت التجارب الأولية أن كلتا الطريقتين قد يُكتب لها النجاح، لكن لكي تعملا على نطاق واسع بما يكفي لتكونا مؤثرتين فإنهما ستكونان مكلِّفتين للغاية، وستتطلبان تضافر جهود دولية يصعب التنبؤ بها ما لم يتعذر الإبقاء على الوضع الحالي. وعلاوةً على ذلك فإن إقناع الرأي العام بأننا في حاجة إلى أن نتلاعب بالمحيطات من أجل إصلاح الضرر الذي أحدثناه في الغلاف الجوي؛ سيتطلب دعاية هائلة.

ما من شك في أننا إذا أردنا أن يكون لنا أي تأثير على ظاهرة الاحترار العالمي، فسيتعيَّن علينا جميعًا أن نغيِّر أنماط حياتنا، ونتجه نحو مجتمع يشجع ويكافئ على

الاستخدام الأكثر فعالية وكفاءة للطاقة وللموارد المتاحة. إن معالجة ظاهرة الاحترار العالمي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالاعتماد الواسع النطاق على التنمية المستدامة. سوف تضع ظاهرة الاحترار العالمي نهاية للعالم الذي عهدناه عن طريق إحداث تغييرات جذرية لبيئتنا، لكن إن لم يستمر الوضع في التدهور، فلا بد أن يقدم أيضًا حافزًا ودافعًا لتغيير الطريقة التي نعيش بها. في العالم المتقدم ليس أمامنا خيار سوى خفض استهلاك الوقود، والاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة، وإعادة التدوير على نطاق أكبر بكثير مما عليه الحال الآن، والإنتاج المحلي لما نحتاج إليه من الفاكهة والخضراوات بدلًا من الاضطرار إلى نقلها من نصف الكرة الأرضية إلى نصفها الآخر على متن الطائرات. أما الحكومات في البلدان النامية، فبقدر ما أستطيع فهم مقاومتها لذلك، أرى أنه يجب عليها أن تتجنب في سعيها نحو التصنيع طريق الإسراف الذي اتخذته أوروبا وأمريكا الشمالية؛ وذلك لسبب بسيط ومنطقي، وهو أنها إن لم تتجنبه فإنها — وشعوبها — أكثر من سيعاني من ويلات ذلك. وعلى وجه الخصوص، على العالم النامي تبنِّي مصادر الطاقة المتجددة وإعادة التدوير الآن، وعلى القوى الاقتصادية في العالم أن تقدِّم له الدعم للمُضي على هذا الدرب. وبالرغم مما لدينا من إحباط بسبب فشل بروتوكول كيوتو في أن يكون شاملًا للجميع، فهناك خطة بديلة مطروحة للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة يمكنها بدء تحريك الوضع على الدرب الطويل لتحقيق تثبيت نسب تلك الانبعاثات بل والحد منها. وهذه الخطة البديلة تُسَمَّى «التقليص والتقارب»، وهي نموذج جديد من بنات أفكار «معهد المشاعات العالمية» في لندن. وتستند هذه الخطة البارعة على مبدأين؛ أولهما: أنه يجب تقليل انبعاثات غازات الدفيئة، وثانيهما: أن الوسائل التي تُستخدم في ذلك يجب أن تكون عادلة للجميع؛ ولذلك تقترح نظرية «التقليص والتقارب» الحد من الانبعاثات على أساس نصيب الفرد. وستُبرَم اتفاقية دولية تحدد كمَّ الانبعاثات الذي يجب أن يلتزم به كل طرف كل عام؛ ومن ثَمَّ تصدر تصاريح بكمٍّ الانبعاثات لكل دولة مشاركة على أساس عدد سكانها. ومن المقرر أن تكون تصاريح الانبعاثات تلك قابلةً للتداول بحيث يتسنَّى لبلدان مثل الولايات المتحدة وأستراليا — حين تقل مخصصاتها عن حاجتها — أن تشتريَ تصاريح الانبعاثات التي تفيض عن حاجة البلدان النامية المكتظة بالسكان. وهذه الخطة البسيطة تجذب كل يوم اهتمامًا متزايدًا، ولها الآن مؤيدون ذوو ثقل في الأمم المتحدة، وأوروبا، والصين، وحتى بين البلدان النامية، والساسة الأمريكيين. صرنا الآن لا مفر أمامنا نحن وذريتنا من أن نواجه صراعًا طويلًا

وشاقًّا في ظل اقتراب نهاية عالمنا المعتدل، ودخولنا في عصر دفيئة الأرض. ولكن لعل مبادرة «التقليص والتقارب» تساعد على تخفيف وطأة هذا التحول.

## حقائق مثيرة للقلق

- بحلول نهاية هذا القرن، من المتوقع أن يشهد كوكبنا ارتفاعًا في درجات الحرارة أكثر مما كان عليه في أي وقت مضى خلال المائة والخمسين ألف سنة الماضية.
- بحلول عام ٢١٠٠، من المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة العالمية فوق اليابسة بنسبة تصل إلى ٨ درجات مئوية أو أكثر، مع ارتفاع مستوى سطح البحر إلى ٨٨ سنتيمترًا.
- تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد تفوق ما كانت عليه في أي وقت مضى خلال العشرين مليون سنة الماضية.
- في عام ٢٠٠٠، تضرر واحد من بين كل ٣٠ شخصًا من سكان العالم من الكوارث الطبيعية.
- بحلول عام ٢٠٢٥، سيكون هناك خمسة مليارات شخص يعيشون في بلدان ليست بها كفاية من إمدادات المياه.
- خلال خمسين عامًا، قد تَفْنَى كل الشعاب المرجانية الرائعة في العالم نظرًا لارتفاع درجة حرارة مياه البحار.
- من غير المرجَّح أن يستمر قطاع الرياضات الشتوية في شكله الحالي حتى عام ٢١٠٠.
- احتمال ذوبان الغطاء الجليدي في غرب منطقة القطب الجنوبي خلال المائتي سنة القادمة يساوي ٥ بالمائة. إذا حدث هذا فسوف تغرق جميع المدن الساحلية في العالم من نيويورك إلى لندن إلى سيدني.

## هوامش

(1) IPCC 3rd Assessment Report.

(2) © Vincent Laforet–Pool/Getty Images.

الفصل الثالث

# على مشارف عصر جليدي

## نارٌ أم جليد؟

من الأسباب الرئيسية للتحرر المتزايد من الوهم في مجال العلوم بين عامة الناس هو الاعتقاد أن العلماء يخوضون جدالًا دائمًا بعضهم مع بعض، ويغيرون آراءهم باستمرار. ولا فائدة من توضيح أن هذه هي الطريقة التي تتقدم بها العلوم؛ أي عن طريق معارك بين الأطروحات والأطروحات المضادة إلى أن يُثبِت تراكم الأدلة صحة رأي أحد الطرفين؛ ومن ثَمَّ يصبح هو الرأي المعمول به. يريد الناس من العلماء أن يتفقوا فيما بينهم ليشكلوا جبهة موحدة ليدلوهم أيُّ الأمور صحيح وأيها ليس كذلك. إنهم يريدون ذلك لأنه يجعل حياتهم أسهل بكثير، ويقلل كثيرًا من تلك الأمور التي قد يقلقون بشأنها. إذا كنت مشغولًا بحياتك المهنية أو زواجك، فلن ترغب في التفكير فيما إذا كانت المحاصيل المعدلة وراثيًّا نافعة أم ضارة، أو ما إذا كان عليك تناول اللحم البقري خاليًا من العظام أم لا. ومع ذلك نقول مرة أخرى إن الإجماع العلمي يبدو أنه قد دار دورة أخرى عادت به إلى نقطة البداية على مدى العقدين الماضيين. كما رأينا في الفصل السابق، يتفق الجميع الآن — باستثناء المنشقين من علماء المناخ — أن حرارة الأرض في ارتفاع سريع وأن أنشطتنا الملوِّثة هي السبب في ذلك الارتفاع. لكن في الآونة الأخيرة، أعني ثمانينيات القرن العشرين، كان السؤال المهم في الأوساط المناخية: متى يمكن توقُّع قدوم العصر الجليدي القادم؟ ما الذي تغيَّر إذنْ؟ الواقع أنه لم يتغير الكثير. وكما سنوضح فيما يلي، من المتوقع أن تزداد الأنهار الجليدية مرة أخرى، وعلينا أن نتوقع غرق كوكبنا في برد قارس في غضون العشرة آلاف عام المقبلة. ومع ذلك فإن ما تغير هو الإقرار بأن الاحترار الذي سببه الإنسان والتأثيرات المناخية المرتبطة به قد يلعب دورًا في وقت حرج

من الانتقال الطبيعي عندما يكون عالمنا على شفا الدخول في عصر مليء بالجليد والثلوج يمتد عشرات الآلاف من السنين. غير أن الباحثين ليسوا متأكدين تمامًا من طبيعة هذا الدور، ومع أنك حدْسيًّا قد تتوقع أن ظاهرة الاحترار العالمي ستؤخر العصر الجليدي القادم أو تدرؤه تمامًا، يرى بعض العلماء أن الارتفاع الكبير المستمر في درجات الحرارة قد يسرع فعليًّا بداية العصر الجليدي المقبل. حتى وإن ثبتت عدم صحة هذا القول الأخير، فلا تزال أمامنا مشكلة. فبما أننا نعلم أننا على أعتاب عصر جليدي جديد، ألا ينبغي أن نحاول جاهدين الحفاظ على دفء كوكبنا؟ ألا ينبغي لنا أن نرحب بالاحترار العالمي؟ بعبارة أخرى، نحن الآن بصدد اختيار صعب نادرًا ما يتناوله الجدل الكبير حول الاحترار العالمي. ما الطريقة التي نفضل أن ينتهيَ بها عالمنا المعاصر، بالنار أم بالجليد؟

## كيف تجمَّد كوكبًا

خلال فجر التاريخ، كان سطح الأرض يغلي بمحيطات الحمم والبراكين الثائرة، ومع أن درجات الحرارة انخفضت انخفاضًا كبيرًا حين هدأت حدة العمليات الجيولوجية السائدة، فقد تنعَّم كوكبنا بالدفء طوال جزء كبير من تاريخه الذي يمتد ٤٫٦ مليارات سنة. لكن من حين لآخر كان مزيجٌ عارض من الظروف يعلن عن تكوُّن صفائح جليدية ضخمة تُحوِّل تلك الجنة المعتدلة إلى صقيع. لقد جعلت الأعمال الفنية والأفلام الوثائقية التليفزيونية معظمنا معتادًا على فكرة العصر الجليدي الكبير الأخير، حين كانت حيوانات الماموث تجوب التندرا (سهل أجرد في المنطقة القطبية الشمالية) وكان أسلافنا الذين يرتدون جلود الحيوانات يناضلون من أجل العيش في عالم متجمد. ومع ذلك فمؤخرًا فقط أُجريت دراساتٌ للتكوينات الصخرية ذات الصلة بالجليد في جميع أنحاء العالم، فألقت الضوء على فترة صقيع أقدم وأسوأ بكثير؛ فترة كان كوكبنا خلالها أشبه بكرة ثلج جامدة تندفع بقوة عبر الفضاء. منذ أمد بعيد، وخلال حقبة جيولوجية أصبح يشار إليها باسم الفترة الكريوجينية (نسبة إلى الكريوجين؛ وهو سائل يُستخدم للحصول على درجات حرارة منخفضة جدًّا)، وجدت الأرض نفسها على عتبة حرجة في تاريخها. انخفضت حرارة الكوكب بنسبة هائلة منذ تكوُّنه على مدار أكثر من ٣٫٥ مليارات سنة مضت، وصارت المشكلة وقتئذٍ أن يظل دافئًا. في ذلك الوقت، بين نحو ٨٠٠ و٦٠٠ مليون سنة مضت، كانت الشمس أضعف، والأرض تنعم بإشعاع شمسي أقل من الآن بنحو

٦ بالمائة. وعلاوةً على ذلك، لم تكن تركيزات الغازات الدفيئة — ثاني أكسيد الكربون والميثان في المقام الأول — التي ترفع درجة حرارة كوكبنا الآن عاليةً بما فيه الكفاية لإبعاد برد الفضاء القارس. تشكلت الصفائح الجليدية الضخمة سريعًا، واندفعت نحو خط الاستواء من كلا القطبين، مغلفةً كل الكرة الأرضية أو معظمها (تحديد هذا لا يزال موضع خلاف) بدرعٍ من الجليد سُمكُه كيلومتر. وبما أن تلك الكرة ناصعة البياض، كانت تعكس الإشعاع الشمسي إلى الفضاء مرة أخرى؛ فقد انخفضت درجات الحرارة إلى ٥٠ درجة مئوية تحت الصفر؛ فبدا احتمال دوام الجليد قويًّا. لكن لا بد أن شيئًا قد حدث وكَسَر ذلك الجليد — إذا جاز التعبير — وإلا ما كنتُ هنا اليوم لأخبركم عن ذلك؛ والواقع أنه يبدو أن ظروف «كرة الثلج» تلك قد تضاعفت ست مرات، وفي كل مرة كانت تخضع لعودة مناخ أكثر دفئًا.

لا أحد يدري على وجه اليقين كيف نجت الأرض من براثن الجليد، لكن يبدو وكأن البراكين هي التي أدت دور المنقذ. بعد ملايين أو حتى عشرات الملايين من السنين من البرد القارس، يبدو أن كميات ثاني أكسيد الكربون الهائلة التي أطلقتها البراكين قد أحدثت احتباسًا حراريًّا كبيرًا بما يكفي لتدفئة الجو وإذابة الجليد. وعلى نحوٍ غريب انبثقت الحياة من تلك الفترة العصيبة للغاية من تاريخ الأرض، ومع ما كانت عليه تلك الحياة من ظروف قاسية، فإنها كانت تتوق للاستمرار؛ فظهر التنوع البيولوجي الذي أعلن بداية العصر الكمبري، وذلك منذ ٥٦٥ مليون سنة. إنْ قارنًّا بين التكوُّنات الجليدية الكبرى التي حدثت في الفترة الكريوجينية وبين أحدث العصور الجليدية «الرباعية»، فإن الأخيرة تتضاءل كثيرًا. ومع ذلك، ومع أنها أثرت على مناطق أصغر من سطح الأرض، فإن آخر موجات الصقيع تلك أدت دورًا حاسمًا؛ لأنها تزامنت مع ظهور أسلافنا الأوائل وتطوُّرهم. وعلاوةً على ذلك، قد يكون لها دور ستؤديه في مستقبل الجنس البشري.

خلال تاريخ الأرض الحديث كانت إشعاعات الشمس أكثر بكثير مما كانت عليه خلال الفترة الكريوجينية، وكانت نسبة ثاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات الدفيئة أعلى أيضًا. لماذا إذنْ — في نهاية العصر الميوسيني منذ نحو ١٠ ملايين سنة — بدأت الأنهار الجليدية مرةً أخرى في التشكُّل والتقدم في معظم أنحاء نصف الكرة الشمالي؟ والأهم من ذلك، لماذا — منذ نحو ٣ ملايين سنة — زاد تحرُّك الجليد جنوبًا؟ لا يزال هذا موضوعًا شائكًا في مجالات علوم العصر الرابع والتغير البيئي، أما التحليل المفصل للنظريات المتنافسة فليس من موضوع كتابنا هذا. ويكفي القول إن تفسير العصور

الجليدية التي يبلغ عددها قرابة العشرين عصرًا، والتي أطبقت على الأرض خلال المليونَي سنة الماضية، تضمنت اختلالًا في دوران الغلاف الجوي لكوكب الأرض بسبب رفع حزام جبال الهيمالايا العظيم، والتعديل الجذري للنظام العالمي لتيارات المحيطات بسبب ظهور برزخ بنما.

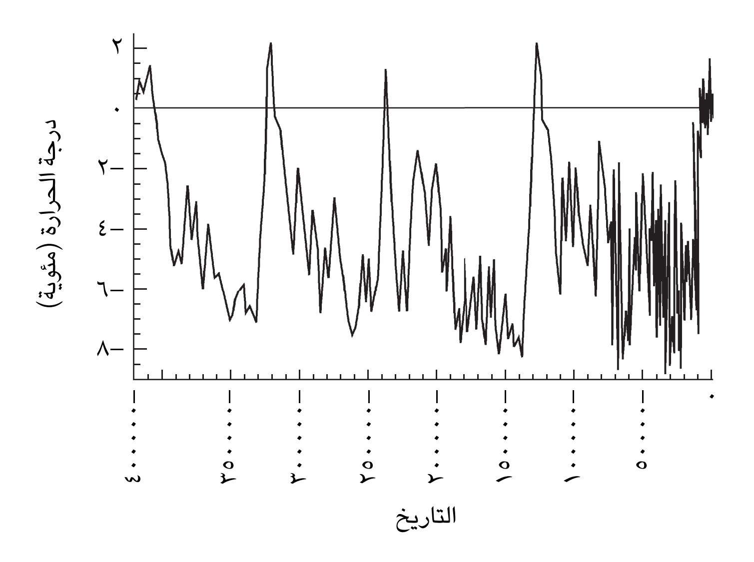
ومع أن أحد هذين الحدثين الجيوفيزيائيين المذهلين أو كليهما قد أسهم في صورة الصقيع المتزايد، فإن الجليد كان يتحرك بالفعل، ونحن بحاجة إلى أن ننظر في مكان آخر عن السبب الصحيح وراء ذلك. بعبارة أخرى، ما الذي يبدأ العصور الجليدية، وأيضًا — على القدر نفسه من الأهمية — ما الذي ينهيها؟ أثارت هذه المشكلة اهتمام العلماء سنوات عديدة، وكان أول من طرح حلًّا لها الجيولوجي الاسكتلندي جيمس كرول، وذلك منذ فترة طويلة عام ١٨٦٤، ثم جاء العالِم الصربي ميلوتين ميلانكوفيتش في ثلاثينيات القرن العشرين ليتوسع فيه. وطبقًا لنظرية كرول-ميلانكوفيتش الفلكية حول العصور الجليدية، فإن التغيرات الطويلة الأجل في هندسة مدار الأرض ودورانها أسباب أساسية في بزوغ نجم العصور الجليدية الرباعية وأفوله. تقول النظرية الفلكية إنه لكي يستمر العصر الجليدي، لا بد من أن تكون فصول الصيف عند خطوط العرض العليا في نصف الكرة الشمالي باردة بما يكفي للسماح بالحفاظ على الثلوج في فصل الشتاء. وفي ظل تزايد تراكم الثلوج والجليد عامًا بعد عام، تزداد انعكاسية أو بياض السطح؛ ما يقلل من تأثير أشعة الشمس في الصيف ويسرع نمو الصفائح الجليدية والأنهار الجليدية. لكن كيف انخفضت درجة الحرارة في فصول الصيف في نصف الكرة الشمالي في المقام الأول؟ هذا ما سيوضحه علم الفلك. تنخفض درجات حرارة الصيف عند خطوط العرض العليا نتيجةً لانخفاض كمية الإشعاع الشمسي الساقط على السطح، وهذا بدوره يعتمد على التغيرات التي تحدث في ميل محور الأرض والاختلافات التي تطرأ على دورانها حول الشمس.

لو لم يكن محور الأرض مائلًا لَمَا كانت هناك فصول سنة. خلال فصل الصيف في نصف الكرة الشمالي — على سبيل المثال — يميل القطب الشمالي نحو الشمس؛ مما يسمح بوصول مزيد من الإشعاع الشمسي المباشر إلى السطح في نصف الكرة الشمالي وارتفاع درجات الحرارة. في المقابل، خلال فصل الشتاء يميل القطب الشمالي بعيدًا عن الشمس، وتذهب أيام الصيف ليحل محلها برد الشتاء وظلامه في نصف الكرة الشمالي. الآن يتلقى نصف الكرة الجنوبي المزيد من أشعة الشمس المباشرة، فينعم سكان الجنوب

بدفء الشمس في حين ترتعد فرائص سكان الشمال من الصقيع تحت سماء قاتمة. ومع أن متوسط ميل محور الأرض يبلغ نحو ٢٣٫٥ درجة، فإنه ليس بثابت؛ فالأرض في دورانها تشبه النحلة الدوَّارة، فهي تتأرجح حول محورها ولكن على مدى فترة تتراوح بين ٢٣ ألفًا و٢٦ ألف سنة. علاوةً على ذلك، فإن هذا التأرجح يتسبب في قدر من الميل يتفاوت بين ٢٢ و٢٥ درجة، وذلك على مدى فترة ٤١ ألف سنة. وحين يكون الميل أقل ما يكون نجد أن فصل الشتاء يأتي أكثر اعتدالًا، ولكن الأهم من ذلك أن خطوط العرض العليا تتلقى مقدارًا أقل من الإشعاع الشمسي المباشر فتصبح أقل برودة؛ مما يجعل بقاء ثلوج الشتاء ونمو الصفائح الجليدية أيسر وأسهل. وفوق ذلك كله هناك ما يُسَمَّى آلية القسر الفلكية التي تساهم في بدء العصر الجليدي. والأرض — مثل جميع الكواكب — تتبع في دورانها حول الشمس مسارًا بيضاوي الشكل لا دائريًّا، ويختلف شكل هذا المسار باختلاف الدورات ما بين ١٠٠ ألف و٤٠٠ ألف سنة. وتكون الأرض أقرب ما تكون إلى الشمس في هذا الوقت في شهر يناير، عندما يشير القطب الشمالي بعيدًا عن الشمس؛ مما يؤدي إلى قدوم فصول شتاء أكثر برودة قليلًا في نصف الكرة الشمالي. ومع ذلك، وقبل ١١ ألف سنة فقط، وقع هذا الاقتراب في شهر يوليو؛ مما زاد حرارة الصيف في نصف الكرة الشمالي قليلًا.

قبل أن يزداد الأمر تعقيدًا، دعونا نحاول ربط الأشياء بعضها ببعض. الدورات المنتظمة التي يمكن التنبؤ بها — والمعروفة باسم دورات ميلانكوفيتش — معروفة في سلوك ميل الأرض ومدارها على مدى فترات تتراوح بين آلاف ومئات الآلاف من السنين، وتتحكم هذه الدورات في كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض؛ ومن ثَمَّ تتحكم في درجة حرارة الأرض. في بعض الأحيان، قد يتزامن عدد من الدورات بحيث تنخفض درجات الحرارة في الصيف في مناطق خطوط العرض العليا إلى الحد الذي يسمح بتراكم ثلوج الشتاء. وهذا في حد ذاته لا يمكن أن يؤديَ إلى ظهور الصفائح الجليدية الضخمة التي هيمنت على النصف الشمالي طوال فترة كبيرة من ملايين السنوات القليلة الماضية، لكن نظرًا لزيادة رقعة المنطقة التي تغطيها الثلوج والجليد، فقد أدَّى هذا إلى انعكاس المزيد والمزيد من ضوء الشمس مرة أخرى إلى الفضاء، وإلى الإسراع من عملية التبريد. وهذه في الأساس طريقة بدء العصور الجليدية. على العكس من ذلك، وفي أحيان أخرى، نجد الدورات المختلفة يلغي بعضها بعضًا، وترتفع درجة حرارة الكوكب نتيجةً لذلك؛ ومن ثَمَّ تتراجع الصفائح الجليدية إلى معاقلها القطبية.

مع أن ميلانكوفيتش ومن أتى بعده من الباحثين الذين تناولوا هذه المسألة تمكَّنوا من شرح آليات العصور الجليدية ودورية حدوثها، فإنهم كانوا أقل نجاحًا في تحديد سبب ظهور تلك الحقب الجليدية على الساحة منذ نحو ١٠ ملايين سنة، لا على مدار تاريخ الأرض. ربما تكون إجابة ذلك السؤال في نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي للأرض، التي ظلت تتناقص باطراد على مدى الثلاثمائة مليون سنة الماضية، من نحو ١٦٠٠ جزء في المليون إلى ٢٧٩ جزءًا في المليون فقط قبل الثورة الصناعية. قيل إنه ربما يكون انخفاض نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى أقل من المستوى العَتَبي الحرج — لنقل ٤٠٠ جزء في المليون — عاملَ قسر فلكي كافيًا لبدء دورة الدفء والبرد التي تميز العصور الجليدية. وهذا يطرح السؤال: في ظل توقع ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون فوق هذه النسبة في غضون ما يزيد على ٢٠ عامًا بقليل، هل يعني هذا أننا ودَّعنا العصور الجليدية إلى الأبد؟ سأعود إلى ذلك لاحقًا.

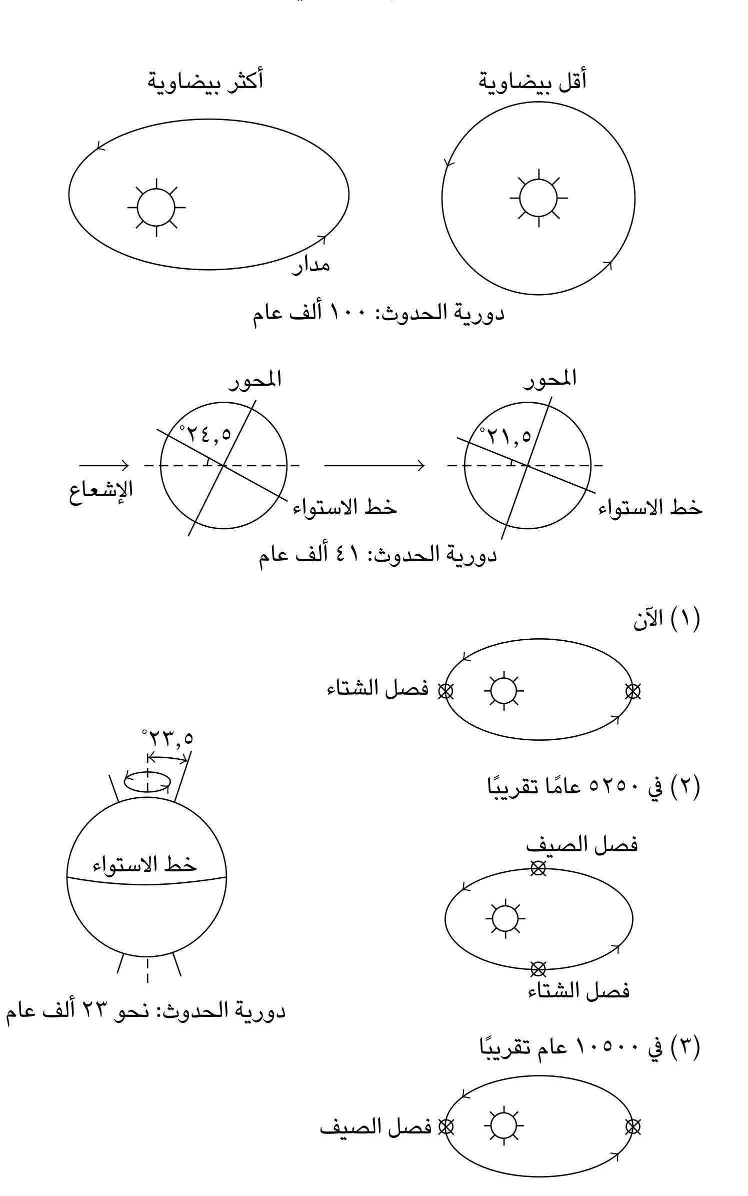



شكل ٣-١: توضح التغيرات في درجات الحرارة خلال الأربعمائة والعشرين ألف سنة الماضية أن الأرض كانت أكثر برودة بكثير مما هي عليه الآن.

في غضون ذلك، وعلى أساس أن هناك احتمالًا معقولًا على الأقل أننا سنُضطر إلى مواجهة العصور الجليدية مرة أخرى في وقتٍ ما في المستقبل، دعونا نرَ كيف كانت الظروف في أعماق العصر الجليدي الأخير. حين بدأت درجات الحرارة في الانخفاض منذ نحو ١٢٠ ألف سنة، أخذت تزداد كمية مياه الكوكب المحتجزة في الأنهار الجليدية الجبلية، والجليد البحري القطبي، والصفائح الجليدية القارية الممتدة في نصف الكرة الشمالي، وكانت النتيجة بدء انخفاض مستوى سطح البحر انخفاضًا كبيرًا. اندفع الجليد جنوبًا نحو خط الاستواء أربع مرات على الأقل خلال تلك الفترة، إلى أن وصلنا إلى ذروة الغطاء الجليدي قبل ١٥–٢٠ ألف عام.

في هذا الوقت كان مستوى سطح البحر أقل من مستواه الآن بمقدار نحو ١٢٠ مترًا، وهو ما يعادل ارتفاع مبنًى يتألف من أربعين طابقًا، فكشف عن جسور برية جديدة بين القارات، وسهَّل الهجرة للحيوانات ولأسلافنا الأوائل. تكوَّن أحد تلك الجسور البرية عبر مضيق بيرينج؛ ما سمح للبشر من سكان آسيا بالعبور إلى أمريكا الشمالية، ومن هناك استعمروا العالم الجديد في نهاية المطاف. ولو عدنا إلى الوراء ٦٠٠ جيل فقط، لوجدنا أن شمال كوكبنا كان واقعًا في قبضة جليدية فولاذية متكاملة؛ إذ كان ثلث اليابسة مغطًّى بالجليد، و٥ بالمائة من محيطات العالم متجمدة. فإذا قارنَّا بين البيئة في ذروة العصر الجليدي وبين بيئة اليوم، لوجدنا أن الأولى كانت بيئة شديدة العدائية؛ إذ كان متوسط درجات الحرارة يقل ٤ درجات مئوية عما هو عليه اليوم، لكنه كان أقل بكثير في مناطق خطوط العرض العليا في الشمال.

في المملكة المتحدة انخفضت درجات الحرارة بنسبة تتراوح بين ١٥ و٢٠ درجة مئوية، فتحولت البلاد إلى قفار مجمدة مع وجود ألواح كبيرة من الجليد تمتد لتصل جنوبًا حتى نهر التيمز، بل وأبعد. ومع ذلك سادت ظروف أشد قسوة في أمريكا الشمالية؛ حيث كانت درجة الحرارة في مناطق شاسعة أقل بمقدار ٢٥ درجة مئوية مما هي عليه اليوم، وكانت سماكة حقول الثلج تبلغ عدة كيلومترات؛ مما جعل الحياة شبه مستحيلة. ومع ذلك، فإن من اللافت للنظر أنه حين بدا كما لو أن العالم يعود مرة أخرى إلى حالة كرة الثلج التي مر بها خلال الفترة الكريوجينية، حدث تغيُّر مفاجئ؛ فقد بدأت درجة الحرارة في كوكب الأرض ترتفع بسرعةٍ مذيبةً الطبقات الجليدية الضخمة بمعدل أسرع بكثير مما استغرق تشكُّلها. انصب الماء الناتج عن ذلك الذوبان في بحيرات عملاقة تقع على حواف حقول الجليد التي أُفرغت بدورها في المحيطات؛ فارتفع مستوى سطح




شكل ٣-٢: تتحكم دورات ميلانكوفيتش في توقيت العصور الجليدية؛ التغيرات في شكل مدار الأرض حول الشمس (أعلى الشكل)، والتغيرات في ميل محور الأرض (منتصف الشكل)، وبداريَّة محور الأرض (أدنى الشكل).[1]

البحر، وغُمرت بالماء أجزاء من الأرض كانت جزءًا من اليابسة على مر بضعة آلاف من السنين. قبل ١٢ ألف سنة مضت كان مستوى سطح البحر يرتفع بسرعة أكبر بكثير من أكثر التوقعات تشاؤمًا في القرن المقبل، ربما بنسبة تصل إلى ١٠ أمتار أو نحو ذلك خلال بضعة قرون، وطوال الوقت كان المناخ يزداد دفئًا. كان انتقال كوكب الأرض من أعماق العصر الجليدي إلى نعيم العصر بين الجليدي الحالي انتقالًا شاقًّا نوعًا ما، وحاول الجليد أكثر من مرة أن يعود ليتصدر المشهد مرة أخرى. على سبيل المثال، منذ نحو ١٢٨٠٠ سنة توقف التراجع السريع للجليد بسبب موجة من الصقيع، فبدأت فترة جليد امتدت ألف سنة، وتلك الفترة تُعرف باسم «درياس الأصغر» تمييزًا لها عن مرحلة البرد القارس «درياس الأكبر» التي سبقتها حدوثًا وكانت أقل شدة. لا أحد يعلم على وجه اليقين سبب تلك الموجة الباردة المفاجئة، لكن يرى البعض أن سببها تفريغٌ ضخم للمياه العذبة وقع في إحدى بحيرات الأزمنة الغابرة، وتُسَمَّى بحيرة أجاسيز، وقد كانت إحدى البحيرات العملاقة التي ضمت المياه المتراكمة الناتجة عن ذوبان الجليد في أمريكا الشمالية. ولعل الإفراغ الكارثي لهذه البحيرة في سانت لورانس، ومن هناك إلى شمال الأطلسي، قد عطل التيارات التي تحمل المياه الدافئة إلى المناطق القطبية، فسمح بذلك للمناخ في مناطق خطوط العرض العليا بأن يصير باردًا، فتشكل الجليد مرة أخرى. تعلِّمنا فترة «درياس الأصغر» وغيرها من حقب الصقيع التي تلت العصر الجليدي عددًا من الدروس المهمة التي يجدر بنا أن نتذكرها في الوقت الذي يمر عالمنا فيه بتغير مناخي كبير؛ أولًا: قد يحدث التحول من الدفء إلى الصقيع والعكس بشكل سريع للغاية قد يبلغ عقودًا. ثانيًا: قد تكون لاضطرابِ التيارات البحرية عواقبُ وخيمة وبعيدة المدى على تغير المناخ. وسنتناول طرفًا من الآثار المقلقة لذلك الاضطراب بمزيد من التفصيل لاحقًا في هذا الفصل.

## تشارلز ديكنز، وأعياد الميلاد البيضاء، والعصر الجليدي الصغير

من المرجح أن من بلغ هذا الحد في قراءة الكتاب على دراية بالعصر الجليدي، ولكن ماذا عن العصر الجليدي الصغير؟ هذا هو المصطلح الذي يطلقه علماء المناخ على فترة صقيع استمرت من عام ١٤٥٠ على الأقل — وربما ١٢٠٠ — حتى ما بين عام ١٨٥٠ وبداية القرن العشرين. خلال تلك الفترة تقدمت الأنهار الجليدية بسرعة، واجتاحت قرى جبال الألب، في حين أعاق الجليد البحري في شمال المحيط الأطلسي كثيرًا صناعةَ صيد الأسماك

في أيسلندا والدول الإسكندنافية. ويُقال إن سكان الإسكيمو خاضوا البحر جنوبًا حتى اسكتلندا، في حين انقطع مجتمع الفايكنج الذي كان مزدهرًا في جرينلاند عن العالم، فلم يسمع به أحد بعد ذلك.

كانت درجات الحرارة السنوية في إنجلترا أواخر القرن السابع عشر تقل تقريبًا درجة مئوية واحدة عما كانت عليه في الفترة بين عامَي ١٩٢٠ و١٩٦٠، فأدَّى ذلك إلى حلول فصول شتاء جليدية قاسية كانت خلالها تُعقد احتفالات «المهرجان المتجمد» بانتظام على نهر التيمز المتجمد، وكان تساقط الثلوج شائعًا. وربما يعكس العديد من أعمال تشارلز ديكنز تلك المرحلة المناخية الباردة؛ حيث نجد بها أوصافًا لفصول الشتاء الثلجية، وهي بالتأكيد تعزز بقوة توقعنا المستمر — بل وتمنينا — لقدوم «عيد ميلاد أبيض» على الطراز القديم.

فلا يزال السبب وراء حدوث العصر الجليدي الصغير موضوع جدال. ومع ذلك فمن الواضح أنه بما أن معظم موجة الصقيع قد حدثت قبل الثورة الصناعية، فليس هناك مجال لأن يكون للأنشطة البشرية دور فيها. ومع هذا، فمن الأهمية بمكان أن نفهم فترة العصر الجليدي الصغير في سياق الاحترار العالمي؛ لأننا لو لم نقدِّر التغيرات الطبيعية التي طرأت على كوكبنا مؤخرًا، فسيكون شبه مستحيل أن نكشف الآثار الناجمة عن الأنشطة البشرية. الواقع أن العصر الجليدي الصغير لم يكن الاستثناء الكبير الوحيد عن القاعدة المناخية — إذا كان هناك شيء من هذا القبيل — في العصور التاريخية. فقبل فترة الصقيع تلك مباشرة، كانت أوروبا — على الأقل — تشهد ما يُسَمَّى بالحقبة القروسطية الدافئة. وأثناء تلك الفترة من تحسُّن المناخ — بين عامَي ١٠٠٠ و١٣٠٠ ميلاديًّا — نمت زراعة العنب في شمال إنجلترا كما حدث مرة أخرى في مناخ اليوم الدافئ؛ بينما استطاع المستوطنون الإسكندنافيون في جرينلاند رعْي مواشيهم في المناطق التي كانت حتى وقت قريب مدفونة تحت الجليد. وقد تزامن خروج العالم من العصر الجليدي الصغير في نهاية القرن التاسع عشر مع تسارع وتيرة التصنيع على نطاق عالمي، فأسهم ذلك إسهامًا ليس بالهيِّن في تأييد الأقوال الحالية عن أسباب ظاهرة الاحترار المعاصرة.

وكما أشرنا في الفصل السابق، هناك اتفاق علمي كبير على أن ظاهرة الاحترار العالمي من صنع الإنسان، لكنَّ البعض لا يزال يؤكد أنها تُعزى بالكامل إلى سبب طبيعي، فَيَرَوْن الاحترار الحالي في ضوء خروج الكوكب من العصر الجليدي الصغير

ودخوله فترة أخرى دافئة مشابهة لفترة الحقبة القروسطية الدافئة. ومع أن الأدلة المتاحة تثبت بما لا يدع مجالًا للشك أن السبب في الاحترار بشري وليس طبيعيًّا بحتًا، فما من شك في أن تأثير الأنشطة البشرية فُرِضَ فرضًا على تغير طبيعي أسفر في الماضي القريب عن تغير كبير في المناخ. لكن ما هو السبب؟ من أكثر الأسباب التي يشار إليها الشمس التي لا تزال انبعاثاتها تختلف عبر نطاقات زمنية تتراوح ما بين ١٠٠ إلى ١٠ آلاف سنة. على سبيل المثال، تتوافق أكثر مرحلتَي برودة في العصر الجليدي الصغير كثيرًا مع مرحلتَي انخفاض ملحوظ في النشاط الشمسي؛ وهما «حد سبورر الأدنى» عامَي ١٤٠٠ و١٥١٠، و«حد موندر الأدنى» بين عامَي ١٦٤٥ و١٧١٥ ميلاديًّا. خلال هاتين الفترتين لم تكن هناك أي بقع شمسية يمكن رؤيتها عمليًّا، وكان الشفق القطبي شبه معدوم؛ مما يشير إلى وجود انخفاض في معدل قصف الإشعاع الشمسي لكوكب الأرض. وبينما يقدِّر علماء الفيزياء الشمسية قطر الشمس خلال «حد موندر الأدنى» بأنه رُبع من واحد بالمائة مما هو عليه اليوم، فقد يكون هذا كافيًا لإحداث قدر كبير من البرودة. ومع ذلك ربما ساهمت عوامل أخرى، وهناك نظرية ظهرت مؤخرًا تشير إلى وجود نسب مرتفعة من النشاط البركاني المتفجر في ذلك الوقت — منها الثوران البركاني الكبير عام ١٨١٥ لبركان تامبورا في إندونيسيا — وهو ما أدَّى على الأقل دورًا ثانويًّا في البرودة التي شهدها العصر الجليدي الصغير. وكما سنناقش بمزيدٍ من التفصيل في الفصل التالي، فإن الانفجارات البركانية الكبيرة فعالة جدًّا في ضخ كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت وغازات الكبريت الأخرى في طبقة الستراتوسفير، وهي طبقة الغلاف الجوي فوق ارتفاع ١٠ كيلومترات تقريبًا. هناك تختلط تلك الغازات ببخار الماء في الغلاف الجوي فتشكل رذاذًا خفيفًا من حمض الكبريتيك الذي يُخفِّض نسبة من الإشعاع الشمسي القادم إلى الأرض، ويؤدِّي إلى تبريد طبقة التروبوسفير (الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي) وسطح الأرض.

## عصر جليدي بريطاني

كلما عرفنا المزيد عن تغير المناخ في الماضي، اتضح لنا أن تغيرات كبرى قد تحدث بسرعة مذهلة. والدليل على ذلك تلك العودة — التي ربما تقع في غضون بضعة عقود — من الظروف المتزايدة الاعتدال إلى البرد القارس الذي ميَّز فترة «درياس الأصغر» قبل ١٢٨٠٠ سنة؛ وكذلك الحال فيما يتعلق بالتحوُّل السريع من فترة الحقبة القروسطية



شكل ٣-٣: خلال العصر الجليدي الصغير، كانت فصول الشتاء في الغالب باردة بما يكفي لإقامة معارض الجليد على ضفاف نهر التيمز.[2]

الدافئة إلى العصر الجليدي الصغير. وما يثير القدر نفسه من القلق هو ميل المناخ للتقلب فجأةً من النقيض إلى النقيض عندما يقع تحت ضغط معين، كما هي الحال في الوقت الراهن بسبب ضغط الاحترار الذي يسببه الإنسان. وهذا يثير مرة أخرى السؤال الذي طرحته في بداية هذا الفصل: هل هناك أي طريقة يمكن من خلالها أن يسبب الاحترار العالمي الحالي العودة إلى الأحوال الجوية الأكثر برودة؟ قد يبدو هذا غير بَدَهِي، لكن هناك أدلة متزايدة على أنه قد يحدث أيضًا؛ على الأقل فيما يتعلق بالمملكة المتحدة، وشمال غرب أوروبا، وربما منطقة شمال الأطلسي بأكملها. السبب الوحيد الذي يمكِّن أشجار النخيل الاستوائية من الازدهار في غرب أيرلندا وجنوب غرب إنجلترا هو أن تيار الخليج يحمل الماء الدافئ شمالًا من منطقة البحر الكاريبي. ونتيجةً لذلك، فالمملكة المتحدة وأيرلندا أكثر دفئًا بكثير من غيرهما من البلاد التي تقع على خطوط عرض مشابهة في شرق كندا، والتي عليها أن تتأقلم مع الظروف شبه القطبية الشمالية. لكن ماذا سيحدث لو حُجبت إمدادات المياه الدافئة القادمة من الجنوب؟ من المحتمل جدًّا أن يصبح المناخ البريطاني — وربما الكثير من شمال غرب أوروبا — شديد البرودة، بل إن بعضهم قال إنه يمكن أن ينافس مناخ سفالبارد (سبيتسبيرجين سابقًا)، وهي الجزر الواقعة قبالة شرق جرينلاند التي يكتنفها الجليد حيث يعيش الدب القطبي. وفي دراسة

أُجريت مؤخرًا، حاكى مكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة ما يمكن أن يحدث إذا ما أُوقِفَ تيارُ الخليج. في العقد التالي، قد يبرد نصف الكرة الشمالي بأكمله، وسيكون لذلك أقوى الأثر على جميع أنحاء شمال الأطلسي. في المملكة المتحدة ستأتي سلسلة من فصول الشتاء القارس في غضون بضع سنوات من ذلك الإيقاف، وستهبط فيها درجات الحرارة إلى ١٠ درجات مئوية تحت الصفر وربما أكثر.

من بين طرق إضعاف تيار الخليج أو إيقافه إطلاق كميات هائلة من المياه العذبة الباردة في شمال المحيط الأطلسي، وهذا بالضبط ما تنبَّأت به عدد من النماذج المناخية المختلفة التي صُممت لإلقاء نظرة على تأثير ظاهرة الاحترار العالمي في هذا القرن وما بعده. وطبقًا لآخر التوقعات، فإن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢–٣ درجات مئوية — وهو أمر يكاد يكون مؤكد الحدوث بحلول عام ٢١٠٠ إن لم يكن قبل ذلك بكثير — سوف يؤدي إلى وجود احتمال توقف تيار الخليج أو تباطُئه بنسبة ٤٥ بالمائة. وحينها، وخلال ما يزيد قليلًا على نصف قرن، قد تصبح البحار المحيطة بالمملكة المتحدة أكثر برودة بكثير؛ ومن ثَمَّ تتغير أنماط الطقس السائدة، لتسود تلك المنطقة ظروف جوية أشد برودة. وبينما تعاني بقية العالم من ارتفاع درجات الحرارة، من المتوقع أن تبدأ منطقة شمال الأطلسي في الانزلاق إلى فترة جليدية تفوق بكثير قسوة الصقيع خلال العصر الجليدي الصغير. وقد يكون هذا مجرد بداية. قد تنتشر الآثار غير المباشرة للتغيرات في دوران المحيطات في شمال المحيط الأطلسي؛ بحيث تطغى على الاحترار الحالي، وتعيد نصف الكرة الشمالي إلى عصر الجليد من جديد. إذنْ دعونا نُلقِ نظرة في الختام على احتمالات عودة العصر الجليدي والدور الذي قد يلعبه البشر في تلك العودة.

## من النار إلى الثلج

لو نظرنا إلى الأمر من منظور دورات ميلانكوفيتش، لوجدنا أن كوكبنا مستعد بالفعل لنهاية الفترة بين الجليدية الحالية والعودة إلى ظروف العصر الجليدي الكامل. يعتقد البعض أنه ليس مطلوبًا سوى شرارة البدء؛ أعني صدمة مفاجئة للنظام تطيح بتوازن المناخ وتجعله يترنح ثم ينهار تمامًا ليصبح في حالة أقل احتمالًا. ليس مؤكدًا إن كان الاحترار العالمي قادرًا على أن يسبب صدمة من الحجم المناسب، لكن الأبحاث الجديدة تقودنا إلى قلق متزايد من أن احترار اليوم قد يصبح جليدًا غدًا. ومرة أخرى، يبدو أن المفتاح يكمن في نظام دوران المحيطات الخاص بشمال المحيط الأطلسي، الذي يبدو

أنه مرتبط ارتباطًا وثيقًا بالتحولات التي جرت في الماضي من حلقات الدفء إلى حلقات الصقيع والعكس. إن تيار الخليج الذي يعرفه معظم الناس هو في الواقع جزء واحد فقط من نظام تيارات يُعرف بأسماء مختلفة، لعل أكثرها دلالة «التيارات التقلبية في المحيط الأطلسي». حين تتجه مياه تيار الخليج الدافئة المالحة شمالًا، فإنها تبرد؛ ومن ثَمَّ تصبح أكثر كثافة. ونتيجةً لذلك، في الوقت الذي تصل فيه إلى المحيط المتجمد الشمالي تكون قد غرقت لتشكِّل تيارًا باردًا في أعماق المحيط يتجه إلى الجنوب مرة أخرى للانضمام إلى نظام أوسع من التيارات البحرية المعروفة باسم الناقل العالمي.

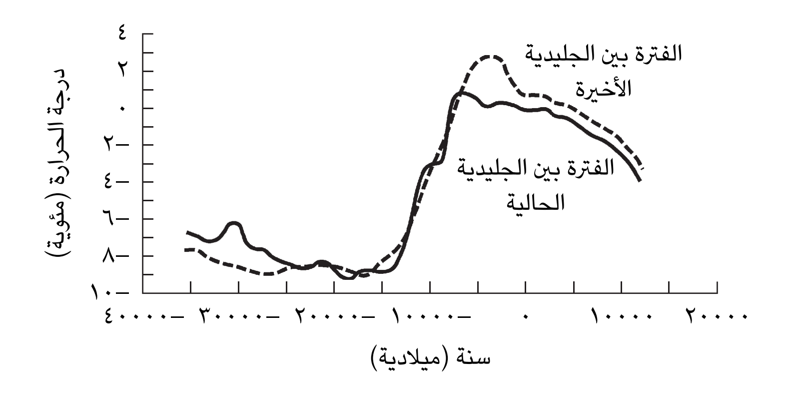
يبدو الآن وكأن عملية التيارات التقلبية في المحيط الأطلسي تتعطل كثيرًا كلما أحكمت الظروف الباردة قبضتها على نصف الكرة الشمالي. خلال فترة «درياس الأصغر» — على سبيل المثال — يبدو أن حركة دوران المحيطات قد انخفضت كثيرًا؛ ومن ثَمَّ خفضت درجات الحرارة في الشمال الأوروبي بنسبة تصل إلى ١٠ درجات مئوية. وآخِر ما جُمع من دلائل حول درجات حرارة المحيطات والملوحة — والمستقاة من دراسات أُجريت على أصداف كائنات بحرية دقيقة تُعرف باسم المنخربات — يشير أيضًا إلى أن تيار الخليج كان أضعف بكثير في ذروة العصر الجليدي الأخير منذ نحو ٢٠ ألف سنة. وعلى ما يبدو كان تيار الخليج يتمتع بثُلثَي قوته الحالية؛ مما يشير إلى أن نظام دوران المحيطات بالكامل أُضعف نسبيًّا. والسؤال: هل كان لذلك الإضعاف دورٌ في حدوث العصر الجليدي الأخير، أم أنه كان مجرد نتيجة؟ لا أحد يعرف الجواب، لكنَّ هناك اعتقادًا عامًّا أن ضعف حركة دوران المحيطات يؤدِّي إلى وجود أحوال جوية أكثر برودة بكثير في نصف الكرة الشمالي، ويبدو أن مثل هذا الضعف يترافق مع تدفقات كبيرة من المياه الباردة إلى شمال المحيط الأطلسي. وبسبب ذوبان جليد البحر القطبي الشمالي والغطاء الجليدي في جرينلاند، فإن هذا هو ما يُتوقع حدوثه تمامًا في القرون القليلة القادمة.

خلال فترة «درياس الأصغر» قبل ١٢٨٠٠ سنة، أدَّى انطلاق كميات ضخمة من المياه من البحيرات الجليدية إلى إحداث موجة باردة لم تدُمْ طويلًا؛ إذ امتدت ألف سنة أو نحو ذلك. ومع ذلك، كانت الأرض حينها تمر بمرحلةٍ ما في نمط دورات ميلانكوفيتش حيث ترتفع درجات الحرارة. والآن نحن على أهبة الاستعداد للانتقال بين الفترة بين الجليدية الحالية والعصر الجليدي القادم، ومن دون آثار التلوث الناجمة عن الأنشطة البشرية يمكن توقُّع أن تكون درجات الحرارة في سبيلها إلى الانخفاض. من غير المعقول أن نعتبر على الأقل، حينها، أن تدفق المياه العذبة الباردة إلى المحيط المتجمد الشمالي قد

لا يؤدي فقط إلى إيجاد فترة وجيزة من الصقيع في شمال غرب أوروبا، لكنه سيوجِد أيضًا عصرًا جليديًّا جديدًا يؤثِّر على نصف الكرة الشمالي بأكمله. ولعل الانتظار لن يطول بنا؛ ففي تسعينيات القرن العشرين، صمم صانعَا نماذج مناخية أمريكيان — هما رونالد ستوفر وأليكس هول — نموذجًا حاسوبيًّا شاملًا لنظام مناخ الأرض لما يقرب من عقد من الزمن لمعرفة ما تخبئه لنا الأقدار في الألفيات القليلة القادمة، واكتشفا أمرًا مثيرًا للقلق. تنبأ ذلك النموذج أنه في غضون نحو ٣٠٠٠ عام ستهب رياح غربية مكثفة على جرينلاند فتساعد على دفع كميات كبيرة من المياه العذبة من القطب الشمالي إلى شمال المحيط الأطلسي. وبسبب أن تلك المياه الشديدة البرودة ذات كثافة منخفضة، فإنها ستظل على السطح، فتبرِّد الهواء فوقها، فتوجِد نظامَ طقسٍ ذا ضغط منخفض من شأنه أن يعزز العواصف نحو الغرب من خلال إحدى آليات ردود الفعل الإيجابية. ومن المتوقَّع أن يكون أثر ذلك تبريد شمال الأطلسي بنسبة تصل إلى ثلاث درجات مئوية، وأيضًا إلى إضعاف الدورات التقلبية في المحيط الأطلسي؛ مما يتسبب في أحوال جوية أكثر برودة في شمال غرب أوروبا. ووفقًا لذلك النموذج، فإن السيناريو البارد لن يستمر إلا لمدة ٤٠ عامًا أو نحو ذلك، ولكن هذين العالِمَين أعربا عن قلقهما من أنه إذا عزز الاحترار العالمي ذوبان الجليد في جرينلاند على نطاق واسع، فإن هذه الإضافة من المياه الباردة قد تضخِّم موجة البرودة الإقليمية القصيرة الأمد لتصبح حقبة ثابتة واسعة النطاق من الجليد. ومما يثير المزيد من القلق أن أولى أمارات الصقيع القادم قد رُصدت بالفعل؛ إذ كشفت القياسات الحديثة عن أن تيارًا مهمًّا يجري جنوبًا بين اسكتلندا وجزر فارو قد تباطأ سيره بنحو ٢٠ بالمائة في السنوات الخمسين الماضية. فهل يكون هذا أول دليل على انهيار الدورات التقلبية في المحيط الأطلسي، والتدهور البطيء والثابت للمناخ نحو البرد القارس؟

من أفضل وسائل توضيح مدى سوء هذا التوقيت لإجراء التجارب على المناخ العالمي هي مقارنة سجل درجات الحرارة الخاص بهذه الفترة بين الجليدية بسجل درجات الحرارة في الماضي. ومن الأمور المهمة للغاية أن نلاحظ أن التوجه الطبيعي لدرجات الحرارة إلى هبوط بالفعل، وهذا الهبوط في واقع الأمر مستمر منذ عدة آلاف من السنين. في هذه اللحظة يبدو كما لو كان التوجه النزولي ينعكس ليصير صعوديًّا بسبب الاحترار الذي يسببه الإنسان، وأنه بدون انبعاثات الغازات الدفيئة في العالم ستقل درجة حرارة العالم بمقدار ٣ درجات مئوية خلال ٨٠٠٠ سنة — سيكون العالم حينها قد قطع

شوطًا كبيرًا نحو عصر الجليد القادم. ومع تفادي البرودة في الوقت الحالي بفعل تأثير الاحترار العالمي على الدورات التقلبية في المحيط الأطلسي، فربما يعجِّل هذا التأثير في نهاية المطاف من قدوم العصر الجليدي القادم.




شكل ٣-٤: تشير المقارنة بين درجات الحرارة في الفترة بين الجليدية الحالية والسابقة إلى أننا بالفعل قد قطعنا شوطًا كبيرًا في طريقنا نحو العصر الجليدي القادم.

آمل الآن أن أكون قد نجحت في إقناعك عزيزي القارئ أنه بإمكان ظاهرة الاحترار العالمي الحالية إطلاق شرارة الدخول في أحوال جوية أكثر برودة، وأن هذا قد يكون نتيجةً لانبعاث مستمر للغازات الدفيئة. ماذا سيحدث لو عاد العالم إلى رشده، وخفَّضنا كثيرًا كمية ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى التي نضخها إلى الغلاف الجوي؟ حسنًا، لقد استعرضنا الرسوم البيانية وعرفنا أن الجليد آتٍ لا محالة. كل ما في يدنا هو أن نحدد إن كنا نريد الدخول في العصر الجليدي مباشرة أم نعاني من القيظ أولًا. وأيًّا كان خيارنا فلا أحد ينكر أن حياة الأجيال القادمة سوف تزداد صعوبة لو عاد الجليد مرة أخرى. أما الحياة في أوروبا وأمريكا الشمالية وروسيا ووسط آسيا وشرقها فستكون مستحيلة تمامًا، وهو ما يهدد الهجرات الجماعية المتجهة جنوبًا، التي سترافقها بلا شك حروب دامية بخصوص أماكن المعيشة ومواردها. مناخ الأرض خلال العصر الجليدي لا يناسب عدد سكانها البالغ مجموعه من ٨ إلى ١٠ مليارات نسمة، أو ما يقرب من ذلك،

ومن المؤكد أنه ستكون هناك مجاعة واسعة النطاق إلى جانب حروب أهلية؛ مما سيؤدي إلى هلاك الجنس البشري. ما من شك في أن الجنس البشري سوف ينجو من ذلك، كما فعل حين تحرك الجليد في آخر مرة تاركًا معاقله القطبية، لكن من المرجح أنه لن يعدوَ كونه صورة باهتة عما كان عليه في السابق.

## حقائق مثيرة للقلق

- منذ ما يتراوح بين ٨٠٠ و٦٠٠ مليون سنة مضت، كانت الأرض كرة ثلج مجمدة مغطاة بطبقة من الجليد سُمكها ١ كيلومتر أو أكثر.
- لا يفصل بيننا وبين نهاية العصر الجليدي الأخير سوى ٦٠٠ جيل بشري.
- في ذروة العصر الجليدي الأخير، كانت درجات الحرارة في المملكة المتحدة أقل بمقدار ١٥–٢٠ درجة مئوية مما هي عليه الآن، وأقل بمقدار ٢٥ درجة مئوية في قطاع كبير من أمريكا الشمالية.
- ارتفعت مستويات سطح البحر أكثر من ١٢٠ مترًا منذ بدأ انحسار الجليد منذ نحو ١٨٠٠٠ سنة.
- من شأن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ٢-٣ درجات مئوية فحسب — وهو ما يكاد يكون مؤكد الحدوث قبل حلول عام ٢١٠٠ — أن يتسبب في احتمال توقف تيار الخليج أو تباطُئه كثيرًا، وذلك بنسبة ٤٥ بالمائة.
- هناك تيار في المحيط الأطلسي يتدفق بين اسكتلندا وجزر فارو قد ضعف بنسبة ٢٠ بالمائة عما كانت عليه الحال خلال السنوات الخمسين الماضية.
- دون انبعاثات الغازات الدفيئة، قد تقل درجات حرارة العالم بمقدار ٣ درجات مئوية في غضون ٨٠٠٠ سنة.

## هوامش

(1) Israel Antiquities Authority.

(2) © Museum of London.

الفصل الرابع

# العدو الداخلي

## انفجارات بركانية هائلة، وأمواج تسونامي عاتية، وزلزال كبير قادم

### جحيم على الأرض

تخيل أسوأ منظر ممكن للجحيم؛ الرائحة الكريهة للغاز الكبريتي تملأ عالمًا مظلمًا لا يَشق ظلمتَه سوى وهج أحمر باهت في أفق بعيد غير مرئي؛ رمادٌ ثقيلٌ ينهمر من أعلى كالثلج الحُبيبي يسد العينين والأنف والأذنين بأسرع مما يمكن إزالته. ها أنت ذا تختنق وتحاول التقيؤ، فتُدخل أصابعك في فمك محاولًا دون جدوى إخراج اللعاب الرمادي الذي يقتحم جهازك التنفسي اقتحامًا مع كل نفس تلتقطه بصعوبة بالغة. فجأةً يكشف برق يخطف الأبصار عن المشهد المرعب لأرض موردور — تلك الأرض الخيالية التي ورد ذكرها في ملحمة «سيِّد الخواتم» للكاتب جون تولكين — وقد اندثرت كل معالمها المألوفة تحت رماد يتراكم بمعدل نصف متر في الساعة. يُعلن صوت رعد يصم الآذان عن عودة الظلام وبداية طوفان عارم. وفي غضون ثوانٍ، تتحول انجرافات الرماد إلى سيول مندفعة من الطين تكاد تطرحك أرضًا. وحين يجتمع المطر المتساقط والرماد معًا، تقصفك السماء بكُريَّات لزجة من الطين يزداد سُمكها فوقك لتعيقك عن الحركة. ليس هناك ما يشير إلى أن الشمس قد أطلَّت يومًا على تلك الأرض بأشعتها الدافئة، لكن الجو أبعد ما يكون عن البرد. الواقع أن جسدك يُشوى شيئًا فشيئًا وسط الحرارة الخانقة

المتصاعدة من فرن الطبيعة، والعرق يتصبب من كل فتحة مسام في جسدك ليختلط مع أنهار الوحل التي تغطي كل شبر من جلدك.

البعض من نصف المليار نسمة الذين يسكنون مناطق الخطر حول نحو ٥٠٠ من البراكين المعروفة بنشاطها على مر التاريخ لا يحتاج إلى استخدام خياله؛ فقد رأَوْا الجحيم بأم أعينهم. ولو عرضتَ الوصف الذي قدمناه هنا على أحد الناجين من ثورة بركان بيناتوبو عام ١٩٩١ (الفلبين) أو الثورتين التوءمتين لبركانَي فولكان وتافورفور في رابول (بابوا غينيا الجديدة) بعدها بثلاث سنوات؛ لأومأ برأسه قائلًا: «رأيت هذا الجحيم بعيني!» وبالرغم من بشاعة ذلك المشهد لمن يعيش منًّا بعيدًا عن منحدرات البراكين، فليس فيه ما يثير الاستغراب. لكن ماذا لو حدث هذا على بُعد ١٥٠٠ كيلومتر من الثوران البركاني؟ سيكون ذلك حدثًا استثنائيًّا؛ لأنه سيعني أن «الانفجارات البركانية الهائلة» — أحد أشد الظواهر الطبيعية فتكًا — قد مزقت كوكب الأرض. فأمام تلك الانفجارات العملاقة تتضاءل فداحة أكبر الثورات البركانية في العصر الحديث؛ ومقارنةً بها يكاد ينعدم هول الثوران البركاني الكارثي الذي ضرب كراكاتوا (إندونيسيا) عام ١٨٨٣ وأسفر عن مقتل نحو ٣٦ ألفًا من سكان جاوة وسومطرة. بل إن الثوران العملاق الذي مزق أوصال جزيرة ثيرا اليونانية قبل الميلاد بألف وخمسمائة عام (والذي تسبب في زوال الحضارة المينوية، وأطلق أسطورة أطلانتيس الخالدة) سيبدو كمفرقعة نارية إذا ما قورن بذلك الحدث المزلزِل.

لحسن حظنا أن تلك الانفجارات البركانية الهائلة ليست شائعة، وتشير التقديرات إلى أنه طوال المليوني سنة الأخيرة من تاريخ الأرض لم تشهد الأرض من تلك الانفجارات سوى انفجارَين كل مائة ألف سنة. أسفرت آخر كارثة من هذا النوع عن تحطم القشرة الأرضية في تاوبو بالجزيرة الشمالية في نيوزيلندا قبل ٢٦٥٠٠ سنة. لكن لا يعني ذلك أننا سنكون في مأمن مدة أربعة وعشرين ألف سنة أخرى؛ فالظواهر الطبيعية — مثلها مثل الحافلات — لا تبالي كثيرًا بجدول المواعيد؛ ومن ثَمَّ فقد يقع انفجار بركاني هائل خلال ١٠ سنوات أو ١٠٠ ألف سنة. المفزع في الأمر أن الانفجارات البركانية الهائلة — خلافًا للثورات البركانية «العادية» — حين تقع لن تكون هناك إمكانية لتفادي عواقبها المدمرة. فمن يعيش منا في بلدان أبعد ما تكون عن القلاقل الجيولوجية سيجد عالمنا الدافئ ينقلب رأسًا على عقب بسبب الانفجار البركاني الهائل القادم، حتى لو كان سيحدث في أراضٍ بعيدة على الجانب الآخر من الكوكب. وهذا يرجع إلى ما سيكون له

من أثر هائل على المناخ؛ فما يتصاعد من رماد وغاز عاليًا في الغلاف الجوي سيقلل كثيرًا من كم الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض، ويتسبب في قدوم شتاء بركاني شديد البرودة يشمل العالم بأسره.

وقبل التطرق إلى العواقب الوخيمة للشتاء البركاني القادم، دعونا نُلقِ نظرة أكثر تفصيلًا على مقياس الانفجارات البركانية الهائلة مقارنةً بالثورات البركانية العادية. وُضع عدد من المقاييس في السنوات الأخيرة للمقارنة بين أحجام الثورات البركانية. ومن أقدم تلك المقاييس وأكثرها شيوعًا «مؤشر التفجر البركاني» الذي وضعه عالمَا البراكين كريس نيوهال وستيف سيلف عام ١٩٨٢، وكان هدفه في الأساس تقدير حجم الثورات البركانية التاريخية وشدتها والمقارنة بينها. ويشير حجم الانفجار إلى كتلة المواد التي يطلقها، بينما شدة الانفجار مقياسٌ للمعدل الذي تُطلَق به تلك المواد. ويتميز هذا المؤشر بأنه لوغاريتمي (مثل مقياس ريختر المعروف لقياس شدة الزلازل)، وهو ما يعني أن كل نقطة على المقياس تمثل انفجارًا أكبر عشر مرات من الانفجار الأدنى منه مباشرة. وهكذا يكون ثوران بركاني قوته ٥ درجات على مؤشر التفجر البركاني أكبر عشر مرات من ثوران بركاني قوته ٤ درجات على مؤشر التفجر البركاني، في حين أن ثورانًا بركانيًّ قوته ٦ درجات يكون أكبر مائة مرة، وثورانًا بركانيًّا قوته ٧ درجات يكون أكبر ألف مرة. عند قاعدة المؤشر، تسجِّل التدفقات الطفيفة للحمم البركانية التي تميز معظم الثورات البركانية مثل كيلوا وماونا لوا في هاواي درجة صفر، في حين أن الثورات البركانية الطفيفة التفجر التي تطلِق من الرماد ما يكفي لتغطية لندن أو نيويورك بطبقة خفيفة من الغبار تسجل درجة أو درجتين. ولا يستهوي المؤشر خبراء علم البراكين إلا حين يرتفع إلى قيم أعلى من ذلك؛ فهم يصفون الثوران البركاني الذي يسجل ٣ درجات على مؤشر التفجر البركاني بأنه «متوسط»، والذي يسجل ٤ درجات بأنه «كبير». وهذه النوعية من الثورات البركانية تسفر عن دمار شامل في البقعة المحيطة بها، مطلقة أعمدة من الرماد يصل ارتفاعها إلى ٢٠ كيلومترًا في الغلاف الجوي، وتدفن المناظر الطبيعية المحيطة بها تحت أكوام من الحطام البركاني يبلغ سُمكها مترًا أو أكثر. عام ١٩٩٤، دُمرت بلدة رابول في بريطانيا الجديدة (بابوا غينيا الجديدة) بسبب ثوران بركاني بهذا الحجم، وما هي إلا سنوات قليلة — تحديدًا عام ١٩٩٧ — حتى عانت مدينة بليموث عاصمة جزيرة مونتسيرات الكاريبية من المصير نفسه. الثورات البركانية التي تسجل ٥ درجات على المؤشر — مثل بركان جبل سانت هيلين (بولاية واشنطن

الأمريكية) عام ١٩٨٠ الذي نال حظًّا وافرًا من التغطية الإعلامية — عادةً ما تُسبب حالة من الفوضى على نطاق محلي؛ أما الثورات البركانية التي تسجل ٦ درجات فقد تسبب دمارًا على المستوى المحلي وتكون لها آثار طويلة الأمد. وربما تكون ثورة بركان بيناتوبو في الفلبين عام ١٩٩١ أكبر ثورة بركانية عرفها القرن العشرون؛ فقد أطلق من الرماد والحطام ما يكفي لدفن وسط لندن تحت طبقة يبلغ ارتفاعها كيلومترًا واحدًا وتشريد مئات الآلاف. ولسنوات بعد تلك الكارثة ظلت التدفقات الطينية التي يغذيها الرماد تنصبُّ على جانبَي البركان الذي عاد إلى الخمود من جديد، وتسبب ذلك في انسداد الأنهار، ودفن الأراضي الزراعية، وإغراق البلدان والمدن. أما إن تحدثنا عن ثوران بركاني يسجل سبع درجات على مؤشر التفجر البركاني، فعلينا أن نعود بالزمن إلى ما يقرب من قرنين من الزمان؛ تحديدًا عام ١٨١٥ حيث دارت رحى معركة ووترلو الشهيرة. فبينما كان جيشَا ويلينجتون ونابليون يتنافسان للهيمنة على أوروبا، ثار بركان يُسَمَّى تامبورا كان خاملًا منذ فترة طويلة على جزيرة سومباوا الإندونيسية، ثورة عارمة فيما قد يُعد الثوران الأكبر منذ نهاية العصر الجليدي قبل ١٠ آلاف سنة. تحدَّث السير ستامفورد رافلز — الذي كان يشغل حينها منصب نائب الحاكم البريطاني لجزيرة جاوة — عن سلسلة من الانفجارات الهائلة دوَّى صداها في سومطرة على بعد ١٦٠٠ كيلومتر. وعندما انتهت تلك الثورة البركانية بعد ٣٤ يومًا، كانت قد خلَّفت وراءها ١٢ ألف قتيل. ومع ذلك، ففي الأشهر التالية، وقع ٨٠ ألف إندونيسي فريسة للمجاعات والأمراض بينما كانوا يصارعون من أجل العثور على الغذاء والمياه الصالحة للشرب في الأماكن التي فتك بها الرماد البركاني.

لا شك أن بركان تامبورا قد ألحق الدمار الشامل بشعب إندونيسيا، لكن آثاره المباشرة كانت مقتصرة على قطاع واحد من جنوب شرق آسيا. أما عن آثاره غير المباشرة، فقد عانى منها كثير من دول العالم. فإلى جانب نحو ٥٠ كيلومترًا مكعبًا من الرماد، أطلق بركان تامبورا نحو ٢٠٠ مليون طن من الغازات المشبعة بالكبريت إلى طبقة الستراتوسفير، لتحملها رياح الارتفاعات العالية سريعًا إلى جميع أنحاء الكوكب. سرعان ما امتزجت الغازات بالماء في الغلاف الجوي لتشكل ١٥٠ مليون طن من إيروسولات حامض الكبريتيك؛ وهي جزيئات دقيقة من السائل قادرة على حجب الإشعاع الشمسي عن الأرض. وفي غضون أشهر، بدأ مناخ نصف الكرة الشمالي في التدهور، وانخفضت درجات الحرارة إلى حدٍّ عُرف معه عام ١٨١٦ بأنه «عام بلا صيف». تشير التقديرات

إلى أن درجات الحرارة العالمية حينها انخفضت نحو ٠٫٧ درجة مئوية — أي ما يساوي تقريبًا سُبع الانخفاض المطلوب لدخول الكوكب في عصر جليدي كامل — ليتسبب ذلك في موجة صقيع صيفي، وثلوج، وأمطار غزيرة. ولعل الأحوال الجوية المتردية تلك هي التي شحذت خيال الكاتبة المبدعة ماري شيلي ليتفتق عن أكثر بنات أفكارها شهرة؛ وهي رواية «فرانكنشتاين»، في حين يقال إن كمَّ الرماد الهائل وغروب الشمس المشبع بالغازات قد ألهما الرسام البريطاني جوزيف مايور تيرنر أهم أعماله.

بالتأكيد كانت الأحوال الجوية في أوروبا وأمريكا الشمالية عام ١٨١٦ سيئة للغاية، لكن هل يمكن لثوران بركاني في جزء بعيد من العالم أن يغير المناخ لدرجة ينهار معها المجتمع وينتهي العالم الذي نعرفه؟ تشير الأدلة المستمدة من الماضي إلى أنه لا شك في إمكانية حدوث ذلك. ولو عدنا بالسجل الجيولوجي إلى الوراء — إلى العصر الأوردوفيشي منذ ما يقارب ٤٥٠ مليون سنة — لوجدنا أن ثورانًا بركانيًّا عملاقًا وقع فيما يُعرف الآن بأمريكا الشمالية قد أطلق من الرماد وتدفقات الحمم البركانية ما يكفي لمحو كل شيء على مساحةٍ لا تقل عن مليون كيلومتر مربع؛ أي ما يعادل مساحة جمهورية مصر العربية، أو أربعة أضعاف مساحة المملكة المتحدة. بالإضافة إلى ذلك، لا بد أن كمية الغاز والحطام التي أطلقها ذلك البركان في الغلاف الجوي كانت هائلة. ولو اقتربنا قليلًا من عصرنا الحالي — أي قبل مليونَي سنة فحسب — لوجدنا منطقة يلوستون في وايومنج تشهد ثورانًا بركانيًّا مروعًا بلغ من القوة أن خلَّف وراءه فوهة بركانية عملاقة (يطلَق عليها اسم كالديرا) قطرها ٨٠ كيلومترًا، وأطلق رمادًا سقط على ١٦ ولاية أمريكية. وقد وقع ثوران بركاني هائل آخر في يلوستون منذ نحو ١٫٢ مليون سنة، وانفجار ثالث منذ ٦٤٠ ألف سنة. ولو وقعت تلك الكارثة الأخيرة اليوم، لتركت الولايات المتحدة واقتصادها في حالة يُرثى لها، ولجعلت المناخ العالمي في حالة متردية.

اجتاح ذلك الثوران البركاني المناطق الريفية المحيطة بتيارات بلغت قوتها قوة الأعاصير من الصُّهارة البركانية والغازات المتوهجة التي تُعرف باسم تدفقات الحمم البركانية الفتاتية، وكانت أحجام تلك التدفقات كافية — لو نُشرت في جميع أنحاء البلاد — لتغطية الولايات المتحدة الأمريكية بأكملها بطبقةٍ سُمكها ٨ سنتيمترات. تساقط الرماد بعيدًا حتى وصل إلى أماكن تشغلها الآن مدينتا إل باسو (في ولاية تكساس) ولوس أنجلوس (في ولاية كاليفورنيا)، بل وعُثر على الرماد الناجم عن ثوران يلوستون في عينات حفر جيولوجية من قاع البحر الكاريبي. ومع أنه لم تُسجل أي ثورات بركانية

في يلوستون لمدة ٧٠ ألف سنة، فإن الينابيع الساخنة، وعيون الماء الحارة المذهلة، والبرك الطينية المتدفقة تشهد أن الصهارة الساخنة لا تزال في مكانٍ ما غير بعيد عن سطح الأرض. ويؤيد هذا أيضًا العديدُ من الزلازل التي تهز المنطقة، وما يطرأ على سطح الأرض هناك من عمليات ارتفاع وهبوط دورية. لا يعرف أحد متى ستشهد منطقة يلوستون انفجارًا بركانيًّا هائلًا مدمرًا آخر، ولا حتى إذا كان هذا سيقع من الأساس أم لا. تتراوح فترات العودة بين انفجارات يلوستون الثلاثة الكبرى بين ٦٦٠ ألفًا و٨٠٠ ألف عام؛ ولذا فلا نبالغ إن توقعنا ثورة بركانية جديدة قريبًا أو إن انتظرناها ما يزيد على مائة ألف سنة. ومن الوارد أيضًا ألا تشهد منطقة يلوستون انفجارات بركانية هائلة أخرى، وأن يخبوَ النظام البركاني العملاق تدريجيًّا إلى أن يفنى تمامًا.

يسيرٌ علينا أن نُطمئن أنفسنا قائلين: هذا جيد، لكن تلك الأحداث المروعة قد وقعت في أزمنة سحيقة. أَمِنَ المؤكدِ أنها قد لا تحدث اليوم؟ إن التفكير بهذه الطريقة لهو خطأ فادح للغاية. في عام ١٨١ ميلاديًّا، أطلق ثوران بركاني عملاق في بحيرة توبو بنيوزيلندا تدفقات حمم بركانية فتاتية أتت على جزء كبير من الجزيرة الشمالية، بينما ألحق آخر انفجار بركاني هائل شهده العالم ضررًا أكبر بالجزيرة قبل أقل من ٢٤ ألف سنة. وقبل ٧٤ ألف عام — أي منذ زمن بعيد وإن كان لا يزال ضمن الفترة الزمنية للإنسانية الحديثة — أسفر ما يمكن القول عنه إنه أكبر ثوران بركاني عرفه التاريخ عن حفرة قطرها ١٠٠ كيلومتر في توبا شمال سومطرة. وهذه الفتحة الشاسعة — التي صارت الآن بحيرة — منطقة جذب سياحي كبير، لكن هناك أدلة على أن وراءها تَرِكة أشد سوءًا. ربما كان ثوران بركان توبا قاب قوسين أو أدنى من القضاء على الجنس البشري. تختلف تقديرات حجم الانفجار، لكن ما من شك في أن انفجار توبا — جنبًا إلى جنب مع انفجارات يلوستون — يرقى لأن يكون انفجارًا بركانيًّا هائلًا قوَّته ٨ درجات على مؤشر التفجر البركاني. كان يُعتقد أن إجمالي الحطام المنبعث أثناء ذلك الثوران البركاني يقارب ٣٠٠٠ كيلومتر مكعب، وهو ما يكفي لتغطية الهند بطبقة من الرماد سُمكها متر واحد. ومع ذلك فالأدلة التي ظهرت مؤخرًا من دراسة العينات الجيولوجية المأخوذة من قاع البحار تشير إلى أن ذلك الثوران البركاني قد استغرق وقتًا أطول مما كان العلماء يعتقدون سابقًا، وأنه قذف من الحطام ما يفوق بكثير ما سُجِّل عنه؛ بنحوٍ قد يصل إلى ٦٠٠٠ كيلومتر مكعب. ولعلك لا تصدق إن قلنا إن هذا الكم يكفي لدفن الولايات المتحدة بأسرها تحت طبقة سُمكها ثلثا متر.

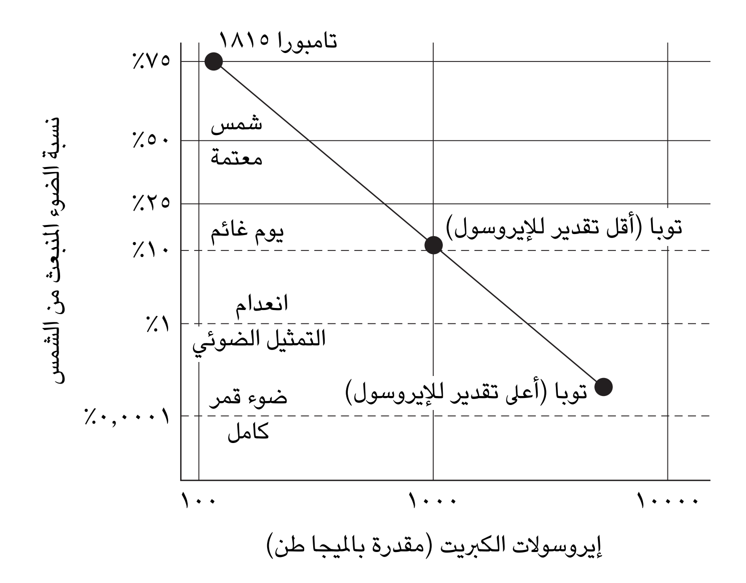
لا شك أن أسلافنا الذين كانوا يعيشون في سومطرة في ذلك الوقت كان مصيرهم الفناء. ومع ذلك، لكي يتعرض الجنس البشري ككلٍّ لخطر الانقراض، فلا بد لآثار الثوران البركاني أن تكون شديدة الوطأة في جميع أنحاء الكوكب، ويبدو أن الأمر كان كذلك. بالإضافة إلى كميات الرماد الهائلة، لعل انفجار توبا قد أطلق من غازات الكبريت ما يكفي لإنتاج ما يصل إلى ٥٠٠٠ مليون طن من إيروسولات حامض الكبريتيك في طبقة الستراتوسفير. ربما كان هذا كافيًا لتقليل كمية أشعة الشمس الساقطة على سطح الأرض بنسبة ٩٠ بالمائة، وهو ما يؤدي إلى ظلام عالمي وبرد قارس. ربما انخفضت درجات الحرارة في المناطق الاستوائية سريعًا بنسبة تصل إلى ١٥ درجة مئوية، فأتى ذلك على النباتات الاستوائية الحساسة، في حين أنه من المرجح أن درجات الحرارة في أنحاء الكوكب ككلٍّ قد انخفضت بمقدار نحو ٥ أو ٦ درجات مئوية، وهو تقريبًا المعدل المطلوب لإدخال كوكب الأرض في ظروف العصر الجليدي الكامل في غضون بضعة أشهر فقط. وتشير سجلات درجات الحرارة التي استُخلصت من عينات الجليد المأخوذة من جرينلاند إلى أن ذلك الانفجار أعقبته ست سنوات على الأقل من الشتاء البركاني، تلته بدورها فترةُ صقيعٍ «عابرة» امتدت ألف عام. وبعد ذلك بوقت قصير دخل كوكب الأرض العصرَ الجليدي الأخير، وهناك بعض التكهنات التي تشير إلى أن أثر التبريد الناتج عن انفجار توبا قد يكون القشة التي قصمت ظهر البعير؛ حيث أخرج الأرض التي كانت صقيعًا بالفعل حينها من الفترة بين الجليدية ليدخلها في مرحلة جليدية لم تستكمل خروجها منها إلا منذ نحو ١٠ آلاف سنة.

ماذا حدث لأسلافنا التعساء الحظ الذين شهدوا تلك الكارثة؟ هل تمكَّنت تلك الفترة من الظلام والبرد البركاني من كسر شوكتهم؟ بالتأكيد يبدو هذا ممكنًا. تكشف الدراسات التي أُجريت على الحمض النووي البشري الموجود في الأجسام شبه الخلوية المعروفة باسم الميتوكوندريا أننا جميعًا متشابهون — من الناحية الوراثية — لدرجة يصعب معها أن نكون قد تطوَّرنا باستمرار ودون عائق لمئات الآلاف من السنين. والطريقة الوحيدة لتفسير هذا التشابه الاستثنائي هي أن الجنس البشري قد مر بفترات دورية مما يطلق عليه «عنق الزجاجة السكانية» والتي انخفض فيها — لسبب أو لآخر — عدد البشر، وتضاءل فيها كثيرًا حجم تجميعة الجينات. وفي نهاية فترة عنق الزجاجة هذه، يحمل جميع الأفراد داخل التعداد السكاني الذي ازداد سريعًا الخصائص الموروثة من تجميعة الجينات المحدودة تلك، وفي نهاية المطاف شمل ذلك جميع أنحاء



شكل ٤-١: خلَّف انفجار بركان توبا الهائل قبل ٧٤ ألف عام فوهة بركانية طولها ١٠٠ كيلومتر، وأغرق العالم في غياهب شتاء بركاني.

الكوكب. يرى مايك رامبينو عالم الجيولوجيا في جامعة نيويورك، وستانلي أمبروز عالم الأنثروبولوجيا في جامعة إلينوي، أن آخر عنق زجاجة سكانية مر بها الجنس البشري كان نتيجة انفجار بركان توبا الهائل. ويعتقدان أن الظروف التي أعقبت ذلك الانفجار كانت تضاهي ما يعقب حربًا نووية شاملة، ولكن دون إشعاع. وبينما قد يسفر السخام المتصاعد من احتراق المدن والغطاء النباتي عن شتاء نووي في أعقاب حرب نووية كبرى، فإن مليارات الأطنان من حامض الكبريتيك في طبقة الستراتوسفير على إثر كارثة توبا قد تعني انغماس العالم في ظلام وصقيع يدومان عدة سنوات. ربما تتباطأ عملية التمثيل الضوئي حتى تكاد تتوقف تمامًا؛ مما يدمر مصادر الغذاء لكلٍّ من البشر والحيوانات التي يتغذى عليها الإنسان. مع حلول الشتاء البركاني، تضوَّر أجدادنا جوعًا وهلكوا وأخذت أعدادهم تقل تدريجيًّا، وربما كانوا حينها في مناطق محمية — لأسباب جغرافية أو مناخية — من أسوأ ما في الكارثة. فقد قيل إنه طوال نحو ٢٠ ألف سنة، لم يكن




شكل ٤-٢: انخفاض ضوء الشمس نتيجة انفجار بركان توبا: تشير تقديرات أسوأ السيناريوهات إلى أن إيروسولات حامض الكبريتيك الناتجة عن كارثة توبا قد حجبت الكثير من أشعة الشمس عن الأرض حتى أظلمت الأرض كلها كظلامها ليلة اكتمال القمر.[1]

على كوكب الأرض بأكمله سوى بضعة آلاف من البشر. وهذا يعني أن جنسنا البشري كان قاب قوسين أو أدنى من الانقراض، وإن كان هذا صحيحًا، فمعناه أن أسلافنا قد صاروا معرضين للخطر تمامًا كما هي الحال اليوم مع الخرتيت الأبيض أو الباندا العملاقة. وبالرغم من كل الصعاب يبدو أن بقايا جنسنا البشري نجحوا في صراعهم من أجل البقاء في أعقاب كارثة توبا وحلول العصر الجليدي، حتى وصل عددنا الآن إلى ٦,٥ مليارات نسمة.

هل يمكن لانفجار بركاني هائل في المستقبل أن يُفنيَ الجنس البشري؟ من المستبعد جدًّا أن يحدث انفجار بركاني يكون من الضخامة بحيث يكفي لإفناء مليارات البشر الذين يعج بهم العالم اليوم، لكن من الممكن تمامًا ألا يبقى المجتمع التكنولوجي العالمي الذي أسسناه على حاله. قبل سقوط جدار برلين كانت العديد من حكومات الدول

مستعدة تمامًا للتخطيط للاحتمال المروع المتمثل في اندلاع حرب نووية عالمية. ومع ذلك، وفي ظل تبدد هذا الخطر إلى حدٍّ كبير الآن، لا تتحمس الكثير من الدول لوضع خطط دفاع مدني لمواجهة خطر وقوع كارثة جيوفيزيائية عالمية. وفي ظل غياب هذا التفكير المستقبلي، من المرجح أن يكون أثر وقوع انفجار بركاني هائل في المستقبل مروعًا. وحتى لو كانت البلدان المتقدمة مثل الولايات المتحدة والمملكة المتحدة وألمانيا وأستراليا لديها مخزون كافٍ لإطعام سكانها مدة شهر أو اثنين على الأكثر، فكيف لها أن تواجه ست سنوات فوق ذلك دون إمكانية تجديد تلك الموارد؟ أما في بلدان العالم الأكثر فقرًا — حيث لم تكن المجاعة والموت جوعًا بعيدَين يومًا عن سكانها — فسيتفاقم الوضع أكثر بألف مرة، وسيحصد الموت الأرواح حصدًا سريعًا ومريعًا. ومن المرجح جدًّا أن تسود شريعة الغاب فتشمل المنطقة من لندن إلى لاجوس؛ حيث سيتقاتل الناس أفرادًا وأسرًا من أجل القوت والبقاء. وحين تنقشع الغمة فتظهر صفحة السماء أخيرًا، وتتنزل أشعة الشمس ضعيفة في بداية الأمر لتجلب معها أول لمسة دفء إلى كوكب الأرض المتجمد حينها، سيكون رُبع السكان قد لقُوا حتفهم بسبب المجاعات، والأمراض، والحروب الأهلية.

من المستبعد كثيرًا — لكنه ليس مستحيلًا — أن يحدث انفجار بركاني هائل آخر خلال المائة سنة القادمة. ولكن أين؟ لدينا الفوهات البركانية غير المستقرة التي تنتفخ وتهتز باستمرار، والتي تبدو مشروع كارثةٍ من هذا النوع، ويضاف إليها أيضًا بركانَي يلوستون وتوبا. لا تزال كميات كبيرة من الصهارة تقبع تحت هذين العملاقين الخاملين، وقد تنطلق عند وقوع أي نوازل مستقبلية. ومع ذلك، من المرجح أن تستمر علامات الإنذار باستيقاظ هذين العملاقين — من زلازل كبيرة وانتفاخات كبرى لسطح الأرض — عقودًا أو حتى قرونًا قبل أن يثورا ثانيةً. وبما أنه لا يَصْدُر عن كلا البركانين في الوقت الحالي أي سلوك ينذر بالسوء، فلا داعي للقلق كثيرًا بشأن حدوثِ انفجار بركاني هائل في توبا أو يلوستون. ومع ذلك فإننا لا نراقب سوى نسبة ضئيلة من براكين العالم النشطة حاليًّا التي يبلغ عددها نحو ١٥٠٠ بركان. علاوةً على ذلك، قد يحدث الانفجار البركاني الهائل المقبل في بقعة خالية من البراكين حاليًّا. وربما أثناء كتابتي هذه السطور تكون كتلة ضخمة من الصهارة التي سبق أن تراكمت تحت أعماق جبال الأنديز الجنوبية النائية في طريقها لتمزيق القشرة الأرضية وتمزيق أوصال عالمنا معها.

كل الانفجارات البركانية الهائلة التي تناولناها حتى الآن من نوع الكوارث المتفجرة. لكنَّ هناك أنواعًا أخرى أقل شيوعًا بكثير، يثور أحدها كل بضع عشرات الملايين من

السنين، فيقذف كميات أكبر من الصهارة، ولكن مع قدر أقل نسبيًّا من العنف. ففي ثورات الفيضان البازلتي تخرج كميات هائلة من الحمم البركانية المنخفضة اللزوجة لتنتشر عبر مناطق شاسعة. وقد رُصدت هذه الظاهرة المذهلة في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك الهند، وجنوب أفريقيا، وشمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وشمال غرب اسكتلندا، لكن أشدَّها اخترق سطح الأرض قبل نحو ٢٥٠ مليون سنة في شمال سيبيريا. تتفاوت التقديرات في هذا الشأن، لكن يبدو أن الحمم المقذوفة من ذلك الحدث غير المسبوق قد غطت أكثر من ٢٥ مليون كيلومتر مربع، وهي مساحة تعادل ثلاث مرات مساحة الولايات المتحدة الأمريكية.

شهد التاريخ الطويل للأرض العديد من الظواهر المماثلة لذلك، وارتبطت بانقراض أجناس بأكملها. فقبل ثوران بركان سيبيريا — على سبيل المثال — كانت الأرض في فترة العصر البرمي تعج بمظاهر الحياة. ومع ذلك، حين حلَّ العصر الترياسي، وبردت التدفقات الكبيرة وتصلبت، كان ٩٥ بالمائة من جميع الأنواع الحية قد اختفت تمامًا من على سطح الكوكب. وهناك انقراض جماعي مماثل وقع قبل ٦٥ مليون سنة في نهاية العصر الطباشيري، ويربطه العلماء بالفيضان البازلتي لمنطقة «ديكان ترابس» البركانية الواقعة شمال غرب الهند. ومع ذلك، وكما سأتناول في الفصل التالي، هناك أدلة قاطعة على أن الأرض تعرضت في ذلك الوقت لاصطدام من قِبل أحد المذنبات أو الكويكبات، ويعتقد العديد من العلماء أن هذا كان السبب الرئيسي لانقراض الديناصورات والعديد من الأنواع الأخرى في نهاية العصر الطباشيري. لكن ربما تكون حمم ديكان ترابس قد أدَّت هي الأخرى دورًا؛ إذ ضخت كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون الذي ربما يكون قد أدَّى إلى وقوع احتباس حراري شديد، وأدَّت إلى زوال الكائنات التي عجزت عن التكيف بالسرعة الكافية. وبما أن مجتمعنا الملوِّث للبيئة يفعل الشيء نفسه الآن، فلعلَّه ينبغي علينا أن نأخذ هذا كإشارة تحذيرية لما قد يحمله المستقبل لنا، ولعالمنا، وللحياة على هذا الكوكب.

## قبر مائي

نال الثوران المذهل لبركان جبل سانت هيلين في ولاية واشنطن الأمريكية عام ١٩٨٠ أوفر نصيب من التغطية الإعلامية، مع أنه بكل المقاييس لم يكن أكبر حدث بركاني شهده القرن العشرون. وربما بسبب وقوعه في أكثر بلدان العالم تناغمًا مع وسائل الإعلام،

كاد أزيز الكاميرات وأصوات أقلام الصحفيين وهم يسجلون وقائع الحدث تطغى على أصوات الانفجارات. ومع ذلك، فلو نظرنا إلى الأمر من منظور علمي لوجدنا أن تلك الثورة البركانية كانت حدًّا فاصلًا ونقطة تحوُّل؛ لأنها لفتت الأنظار إلى نمط من الثورات البركانية لم يكن من قبلُ يحظى إلا بقليل من الاهتمام من قِبل علماء البراكين. معظم الثورات البركانية يكون فيها قذف رأسي للحطام البركاني من فتحة مركزية، لكن الثورة العارمة لبركان جبل سانت هيلين جاءت مختلفة تمامًا؛ فقد أدَّى الحطام والحمم المنطلقة من البركان في ثوران آخر قبلها بمائة وعشرين عامًا إلى انسداد القناة المركزية للبركان، فصعَّبت خروج الصهارة الجديدة المتصاعدة في البركان. اضطُرت تلك الصهارة إلى أن تشق طريقها إلى الجهة الشمالية من البركان؛ الأمر الذي أدَّى إلى تضخمها حتى صارت وكأنها جمرة عملاقة. وبحلول منتصف مايو بلغ عرض تلك الجمرة كيلومترين وبلغ ارتفاعها ١٠٠ متر، وبلغت مبلغًا من عدم الاستقرار. وما إن جاوزت الساعة الثامنة والنصف من صباح يوم ١٨ مايو حتى ضرب زلزال متوسط الأرض من تحت البركان فقلقل ذلك الانتفاخ، وما هي إلا ثوانٍ حتى انفجر ذلك الانتفاخ ليهبط على أحد جوانب جبل سانت هيلين، وكأنه انهيار أرضي هائل. لما نُزع هذا الوزن الضخم من الصهارة الأساسية انطلقت الغازات المضغوطة شمالًا مُحدِثة صوتًا مدويًا، وبلغت من القوة ما جعلها تكتسح بالكامل أشجار التنوب التي كانت تبعد ٢٠ كيلومترًا عن البركان، ودمَّرت فيما دمرت أكثر من ٦٠٠ كيلومتر مربع من الغابات. وسرعان ما اختلطت مواد الانهيار الأرضي مع مياه النهر ومياه البحيرة لتشكل تدفقات طينية مستعرة تدفقت إلى أودية النهر من البركان، بينما مزقت تدفقات الحمم البركانية جوانب البركان وسقط الرماد بعيدًا حتى وصل إلى مونتانا على بُعد ١٠٠٠ كيلومتر.

تسبب انفجار بركان جبل سانت هيلين في مقتل ٥٧ شخصًا، وكان كارثة حلت بالمنطقة، لكن أهميته العلمية تكمن في أنه أوضح لنا الآلية التي تُعرف باسم «الانهيار الجانبي للبركان». يرى معظمنا البراكين على أنها معاقل قوة وصلابة لا تتحرك ولا تتزعزع. والحقيقة أن البركان بنيان نشط يتغير ويتحول على الدوام. وبعيدًا عن كون البراكين قوية فإنها غالبًا ما تكون على درجة كبيرة من الهشاشة؛ إذ لا تعدو كونها أكوامًا غير مستقرة من الرماد وأنقاض الحمم تبحث عن سبب للتفكك. وقد كشفت العديد من الدراسات التي أعقبت ثورة جبل سانت هيلين أن انهيار الجوانب وتكوُّن الانهيارات الأرضية العملاقة هو جزء طبيعي من دورة حياة العديد من البراكين، وأنه

ربما يحدث في مكانٍ ما على هذا الكوكب نحو ست مرات خلال القرن الواحد. وعلاوةً على ذلك، فقد أظهرت تلك الدراسات أن الانهيار الأرضي الذي وقع في جبل سانت هيلين كان صغيرًا بالمقارنة بأكبر انهيارات البراكين المعروفة؛ إذ كان حجمه أقل من كيلومتر مكعب مقارنةً بأكثر من ألف كيلومتر مكعب من قطع الصخور الضخمة التي كانت تسقط من براكين جزر هاواي في عصور ما قبل التاريخ.

لعلك تتساءل الآن: وماذا في ذلك؟ فسقوط قطعة صخرية كبيرة — مهما بلغ حجمها — من أحد البراكين لا يمكن أن يكون له تأثير عالمي، أليس كذلك؟ الجواب أن هذا ممكن بالفعل شريطة أن يكون الانهيار في المحيط. في عام ١٧٩٢ تدفق انهيار أرضي صغير نسبيًّا من أحد جوانب بركان أنزين في اليابان إلى البحر، فولَّد الماء المزاح بسبب ذلك أمواج تسونامي بلغ طولها عشرات الأمتار اجتاحت السواحل المحيطة بذلك البركان؛ مما أسفر عن مقتل أكثر من ١٤ ألف شخص في قرى الصيد الصغيرة الواقعة على الشاطئ. وما إن مرَّ قرن من الزمان على تلك النازلة حتى سقط جزء من بركان جزيرة ريتر قبالة جزيرة بريطانيا الجديدة (بابوا غينيا الجديدة) في البحر، وذلك عام ١٨٨٨؛ مما ولَّد أمواج تسونامي وصل ارتفاعها إلى ١٥ مترًا، فاجتاحت التجمعات السكانية على السواحل المجاورة وأودت بحياة ٣ آلاف شخص. من الواضح أنه حين يجتمع انهيار بركاني وكتلة كبيرة من المياه، يكون المزيج مُهلكًا. لا شك أنك تتساءل الآن: لكن كيف يمكن أن يؤثر ذلك على الغالبية العظمى من سكان الأرض الذين يعيشون بعيدًا عن البركان النشط؟ والجواب يكمن جزئيًّا في حجم أكبر الانهيارات، وجزئيًّا في نطاق أمواج تسونامي التي تولدها تلك الانهيارات.

تُظهِر الصور التي التُقطت تحت الماء لقاع البحر المحيط بجزر هاواي أنها محاطة بتجمعات مهولة من الحطام الذي قذفته البراكين على مدى عشرات الملايين من السنين. وضمن تلك الكتل الضخمة المختلطة من مقذوفات البراكين تعرَّف الباحثون على ما يقرب من سبعين انهيارًا أرضيًّا هائلًا بعضها فاق ١٠٠٠ كيلومتر مكعب. وآخر انهيار هائل شهدته جزر هاواي وقع قبل نحو ١٢٠ ألف سنة، وذلك حين هبطت كتل ضخمة من جوانب بركان ماونا على الجزيرة الكبيرة. ارتفعت أمواج تسونامي العملاقة الناتجة عن سقوط هذا الكمِّ الهائل من الصخور في مياه المحيط الهادي ٤٠٠ متر فوق جوانب بركان كوهالا المجاور له، وهو ارتفاع يفوق ارتفاع مبنى إمباير ستيت في نيويورك. ووُجدت ترسُّبات من عصرٍ مماثل قد تكون لها صلة بأمواج تسونامي، ترتفع ١٥ مترًا فوق

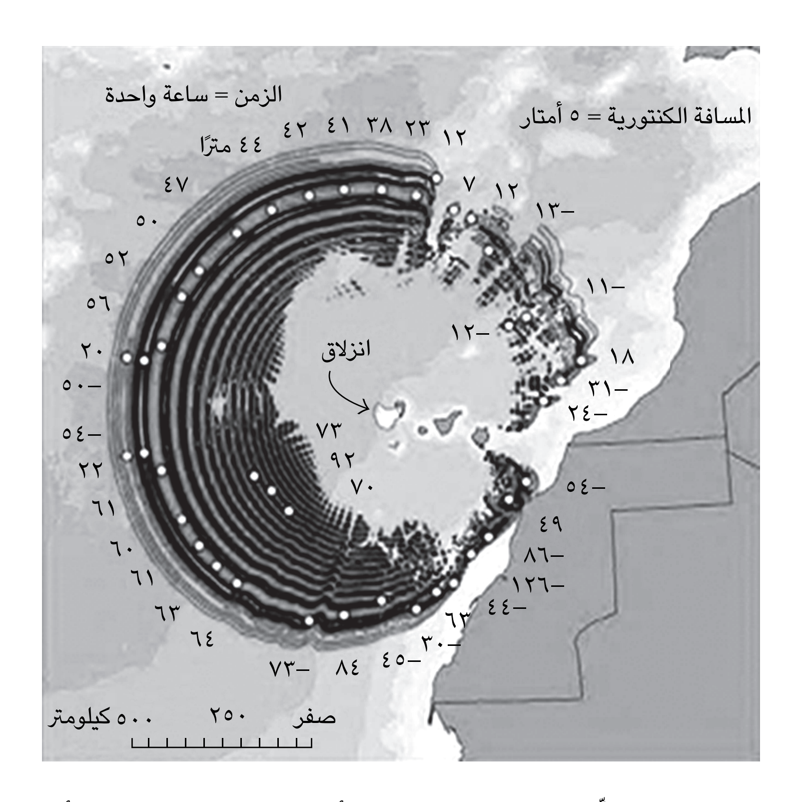
مستوى سطح البحر، وتقع على بُعد ٧٠٠٠ كيلومتر عن الساحل الجنوبي لنيو ساوث ويلز في أستراليا. ومع أن الجدل لا يزال قائمًا حول طبيعة تلك الترسبات ومصدرها، فإن حجم الأمواج المتولدة يبدو حقيقيًّا في ظل ما أظهرته النماذج الحاسوبية التي تحاكي الانهيارات الأرضية البركانية العملاقة في المحيط؛ إذ وُجد أن أمواج تسونامي التي تولدت عنها كانت مقاربة لها في الحجم.

يبدو الأمر وكأن الانهيارات الكبيرة التي تحدث لبراكين جزر المحيط لديها قدرة تامة على توليد أمواج يبلغ ارتفاعها مئات الأمتار، وأن ارتفاعها يظل على ارتفاع عشرات الأمتار حتى عندما تضرب اليابسة التي تقع على بُعد مساحة تساوي نصف مساحة المحيط؛ ومن ثَمَّ من المرجح أن يولد الانهيار المقبل في جزر هاواي سلسلة من أمواج تسونامي العملاقة من شأنها أن تدمر كل المدن المطلة على المحيط الهادي بأكملها، بما في ذلك العديد من المدن الكبرى في العالم في الولايات المتحدة، وكندا، واليابان، والصين. في المياه العميقة تنتقل أمواج تسونامي بسرعات مماثلة لسرعة طائرة من طراز جامبو؛ ومن ثَمَّ فإنه لن تمر ١٢ ساعة حتى تضرب الأمواجُ الشاهقة سواحلَ أمريكا الشمالية وشرق آسيا بقوة تعادل عددًا لا يُحصى من القنابل الذرية.

لا تقتصر المشكلة على المحيط الهادي؛ فقد كشفت الرحلات العلمية حول جزر الكناري، جنبًا إلى جنب مع عمليات المسح الجيولوجية التفصيلية لليابسة، عن صورة مشابهة جدًّا لتلك التي رُسمت لهاواي. فالكتل الضخمة من الصخور المختلطة والممتدة مئات الكيلومترات عبر قاع البحر، وعلامات الانهيار العملاقة التي تحدها الجروف على اليابسة تشهد على وقوع انهيارات هائلة خلال عصور ما قبل التاريخ من جزر تينيريفي وإل هييرو. وما يثير القلق أكثر أنه يبدو كما لو أن انهيارًا عملاقًا جديدًا قد نشط مؤخرًا في جزيرة لا بالما التي تقع في أقصى غرب جزر الكناري، وبات متأهبًا للانطلاق. خلال الثورة قبل الماضية؛ أي عام ١٩٤٩، حدث هبوط لجزء كبير من الجهة الغربية لبركان الجزيرة الشديد الانحدار والسريع التنامي المسمى بكمبر فيجا، وبلغ ذلك الهبوط ٤ أمتار باتجاه شمال الأطلسي ثم توقف. ويعتقد بعض علماء المملكة المتحدة والولايات المتحدة أن تلك الكتلة الضخمة من الصخور البركانية — التي يُقدَّر حجمها ببضع مئات من الكيلومترات المكعبة؛ أي ضعف مساحة جزيرة مان في المملكة المتحدة — قد انفصلت الآن عن الجسم الرئيسي للبركان، وأنها في نهاية المطاف سوف تهبط لتصطدم كلها بمياه البحر. والمشكلة الحالية أنه ليس لدينا أدنى فكرة متى سيحدث ذلك. من المرجح

أن يكون ذلك قريبًا — من الناحية الجيولوجية — لكن لا يدري أحد هل سيحدث ذلك العام المقبل أم في غضون ١٠ آلاف عام. وقد ثبت أن القياسات التي أُجريت خلال أواخر تسعينيات القرن العشرين باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي من الأقمار الصناعية؛ غير حاسمة إلى حدٍّ ما، لكنها تشير إلى احتمال وجود انهيار أرضي لا يزال يزحف ببطء في اتجاه البحر، ربما بمعدل سنتيمتر واحد فقط في السنة أو حتى أقل من ذلك. ومع ذلك، حتى لو كانت هذه هي الحال فمن غير المرجح أن تُتِمَّ الكتلة الصخرية رحلتها إلى شمال الأطلسي دون أن تحركها ثورة بركانية جديدة.

المؤكد أنه في مرحلةٍ ما في المستقبل ستنهار الجهة الغربية من بركان كمبر فيجا في لا بالما، وستفتك أمواج تسونامي بحافة المحيط الأطلسي بأكمله. وقد أثار ستيفن وارد من جامعة كاليفورنيا في سانتا كروز، وسيمون داي من مركز بنفيلد لأبحاث المخاطر الطبيعية في كلية لندن الجامعية ضجةً عام ٢٠٠١ عندما نشرا بحثًا علميًّا وضع نموذجًا لانهيارٍ مستقبلي في كمبر فيجا، والمجرى الذي ستتخذه أمواج تسونامي الناجمة عبر المحيط الأطلسي. يوضح وارد وداي أنه في غضون دقيقتين من دخول الانهيار إلى البحر — إن تخيلنا أسوأ السيناريوهات المتمثلة في انهيار ٥٠٠ كيلومتر مكعب من الصخور — ستتولد في بادئ الأمر قبة من المياه بارتفاع يقارب ٩٠٠ متر، مع أن ذلك الارتفاع سيقل بسرعة. وعلى مدار ٤٥ دقيقة تالية، ستضرب سلسلة أمواج عملاقة يصل ارتفاعها إلى ١٠٠ متر شواطئ جزر الكناري، فتدمر الشرائط الساحلية المكتظة بالسكان قبل أن تصطدم بالبر الأفريقي. وحين تتجه الأمواج شمالًا ستأخذ في الانكسار، لكن ستستمر إسبانيا والمملكة المتحدة في التأثر بأمواج تسونامي يصل ارتفاعها إلى ٧ أمتار. وفي الوقت نفسه، إلى الغرب من لا بالما، ستتجه سلسلة من الأمواج العاتية نحو الأمريكتين. وما إن تمر ست ساعات على الانهيار الأرضي حتى تجتاح أمواج يبلغ ارتفاعها عشرات الأمتار الساحل الشمالي للبرازيل، وبعد بضع ساعات ستنصب في جميع أنحاء الجزر المنخفضة في منطقة البحر الكاريبي لتضرب الساحل الشرقي للولايات المتحدة. وقد تؤدي آثار التركيز في الخلجان ومصبات الأنهار والمرافئ إلى زيادة ارتفاع الأمواج حتى ٥٠ مترًا أو أكثر في الوقت الذي تعاني فيه ولايات بوسطن ونيويورك وبالتيمور وواشنطن وميامي وطأة البركان والأمواج معًا. لا يمكن التقليل من خطر الطاقة التدميرية لتلك الأمواج التي تضارع ناطحات السحاب ارتفاعًا. فعلى عكس الأمواج التي تسببها الرياح والتي تتحطم كل يوم على الشواطئ في جميع أنحاء العالم، والتي تبلغ أطوالها الموجية




شكل ٤-٣: سوف يولِّد انهيار بركان كمبر فيجا أمواج تسونامي هائلة تجتاح أفريقيا، وأوروبا، والأمريكتين. يشار إلى ارتفاع قمم الأمواج بالأرقام الموجبة، وإلى القيعان بالأرقام السالبة (جميعها مقدرة بالمتر). توضح الخريطة موضع الأمواج بعد مضي ساعة واحدة من الانهيار.

(المسافة الفاصلة بين قمة الموجة وقمة الموجة الأخرى) بضع عشرات من الأمتار، عادةً ما تبلغ الأطوال الموجية لأمواج تسونامي مئات الكيلومترات. وهذا يعني أنه ما إن يضرب تسونامي الساحل بجدار مائي صُلب شاهق الارتفاع، حتى يستمر في التدفق — ربما مدة عشر دقائق أو خمس عشرة دقيقة أو أكثر — قبل أن يستغرق المدة الزمنية نفسها في التراجع. إن هجومًا رهيبًا كهذا كفيلٌ بأن يطمس كل مظاهر الحياة، ولن ينجوَ من دماره إلا أكثر المباني والمنشآت ثباتًا.

علَّمتنا الدروس المستفادة من تسونامي المحيط الهندي أنه دون التخطيط المستقبلي الجيد، سيكون من المستبعد أن تكفيَ الساعات التسع التي تستغرقها قوات الإغاثة في الوصول إلى ساحل أمريكا الشمالية لتسهيل عمليات إخلاء ناجحة على نطاق واسع، ومن المؤكد أن عدد القتلى سيصل إلى عدة ملايين. علاوةً على ذلك، ستكون التبعات على اقتصاد الولايات المتحدة وخيمة؛ إذ ستنهار صناعة التأمين بضربة واحدة، وسريعًا ما سيعقب ذلك انهيارٌ اقتصاديٌّ عالمي. وبهذه الطريقة، سيكون من شأن حدث جيوفيزيائي طفيف نسبيًّا في بركان يقع في منطقة نائية من الأطلسي أن يؤثر على جميع سكان هذا الكوكب. تشكل أمواج تسونامي العملاقة — مثلها مثل الانفجارات البركانية الهائلة — ظواهر طبيعية عادية تمامًا، وإن كانت نادرة. في مرحلةٍ ما في المستقبل ستأتي بالتأكيد كارثة لتعيث فسادًا في المحيط الأطلسي أو أحواض المحيط الهادي، لكن متى؟ اختلف العلماء في تقدير وتيرة حدوث الانهيارات في براكين هاواي بين ٢٥ ألفًا و١٠٠ ألف سنة، لكن لو وضعنا الانهيارات الأرضية العملاقة في كافة الجزر البركانية في الحسبان، لأمكنَنَا القول إن انهيارًا كبيرًا يقع كل ١٠ آلاف سنة أو نحو ذلك. في ضوء الجدول الزمني الجيولوجي، فإن هذه وتيرة مرتفعة جدًّا، وينبغي أن تثير لدينا قلقًا حقيقيًّا. بل إن هناك ما يدعو إلى مزيد من القلق، وهو أن معدل الانهيار قد لا يكون ثابتًا، ولعل الحقبة الحالية من ظاهرة الاحترار العالمي الناجمة عن الأنشطة البشرية تسرِّع من موعد الانهيار التالي. وقد ربط فريق البحث الذي أشرف عليه بين زيادة حالات انهيار البراكين في الماضي وفترات تغير مستوى سطح البحر، في حين يرى آخرون أن المناخ الأكثر دفئًا ورطوبة قد يؤدي إلى وقوع أعداد أكبر من الانهيارات الأرضية البركانية الكبيرة. وبما أنه من المتوقع أن مستويات البحار ستستمر في الارتفاع في المستقبل القريب — في حين تُبين الدراسات التي أُجريت حول ما وقع في الماضي من تغيرٍ للمناخ أن زيادة دفء كوكب الأرض تؤدي إلى زيادة غزارة هطول الأمطار على العديد من أكبر سلاسل الجزر البركانية في العالم — ربما علينا جميعًا التفكير في الانتقال إلى المناطق الداخلية (بعيدًا عن السواحل) والمناطق المرتفعة، أو على الأقل الاستثمار في بزَّة غوص من النوع الفاخر.

## مدينةٌ بانتظار الموت

من الصعوبة بمكان أن تنقل لشخص لم يشهد زلزالًا كبيرًا بنفسه قط ذلك الرعب المطلق الذي يوقف العقل عن التفكير والذي يشعر به من يمر بهذه التجربة. حتى في

ولاية كاليفورنيا، حيث يتلقى السكان فيضًا مستمرًّا من المعلومات حول ما يجب القيام به في حال وقوع زلزال، تتلاشى رباطة الجأش والتعقل ما إن تبدأ الأرض في الاهتزاز تحت الأقدام. في أعقاب زلزال لوما بريتا الذي ضرب شمال ولاية كاليفورنيا عام ١٩٨٩، كشف استطلاع رأي أجرته الهيئة الأمريكية للمسح الجيولوجي أن ١٣ بالمائة فقط من سكان سانتا كروز بحثوا عن ملاذ فوري، في حين أن ما يقرب من ٧٠ بالمائة إما تجمدوا في أماكنهم أو ركضوا إلى الخارج. وهذه مشكلة دائمة مع الزلازل؛ مهما تعلَّم الناس وتثقفوا حول الزلازل، عندما تبدأ الأرض في الاهتزاز وقِطع الأثاث في التساقط هنا وهناك، تستولي على المرء الغريزة العمياء آمرةً إياه بالخروج من المكان في الحال. وللأسف، لا يؤدي ذلك إلا إلى زيادة عدد القتلى؛ إذ يكون أصحاب المنازل المذعورون والمندفعون إلى الشوارع وسط صيحات الخوف أهدافًا سهلة للمباني المنهارة وغيرها من الحطام المنهمر فوق الرءوس. ما ينبغي عليهم فعله أن يقبعوا تحت أقرب قطعة أثاث ثقيلة أو يحتموا تحت أسكفة مدخل مناسب.

للزلازل أثر تدميري بالغ، وهو ما يرجع أساسًا إلى أن معظم المدن في المناطق المعرضة لخطر زلزالي كبير لا تكون معظم مبانيها مشيدة كما ينبغي بما يكفي لتتحمل الاهتزاز العنيف للأرض حين يقع زلزال كبير. تتبع أساليب البناء الحديثة في ولاية كاليفورنيا قوانين بناء صارمة تضمن صمود المباني أمام الزلازل التي قد يكون أثرها مدمرًا في مكان آخر، وقد آتت هذه السياسة ثمارها؛ إذ قللت كثيرًا من عدد حالات الوفاة والإصابة والضرر خلال الزلازل الكبرى في السنوات الخمس عشرة الماضية. إلا أن زلزال نورثريدج الذي ضرب جنوب ولاية كاليفورنيا عام ١٩٩٤ قد تسبب في وقوع خسائر بلغت ٣٥ مليار دولار، يعود جزء كبير منها إلى الأضرار التي لحقت بالمباني القديمة. أما البلدان الأخرى المعرضة للزلازل، فلديها قوانين بناءٍ شُرِّعت بهدف التقليل من الأضرار الناجمة عن الاهتزازات الأرضية، لكنها غالبًا لا تُطبَّق. وقد أصبحت تلك التركة الرهيبة من عدم وجود التزام من جانب السلطات الحكومية والمحلية واضحة كل الوضوح عندما ضرب زلزال بلغت قوته ٧٫٤ درجات على مقياس ريختر منطقة إزميت في تركيا عام ١٩٩٩، فدمر ١٥٠ ألف مبنًى، وأودى بحياة أكثر من ١٧ ألف شخص. انهارت الطوابق المتتالية للمباني السكنية بعضها فوق بعض لتشكل كومة من الألواح الخرسانية تضاءلت معها فرصُ نجاة الضحايا. وفي يناير ٢٠٠١، هز زلزال عنيف منطقة بهوج من ولاية جوجارات شمال غرب الهند، فسوَّى ٤٠٠ ألف منزل بالأرض،

وأودى بحياة ١٠٠ ألف شخص. وقد وقعت العديد من الوفيات بسبب أساليب البناء التقليدية المستخدمة في المنطقة، التي في ضوئها كانت المباني تُبنى بأسطح حجرية ثقيلة وجدران سميكة جدًّا مصنوعة من صخور كبيرة يربط بينها طين أو أسمنت غير متماسك. فحين بدأت الأرض تهتز كانت مقاومة تلك المباني ضعيفة؛ فانهارت بسهولة لتسحق مَنْ بداخلها. ومنذ وقت قريب — تحديدًا عام ٢٠٠٣ — ضرب زلزال متوسط الشدة جنوب إيران فأزهق أرواح ٢٦ ألف شخص في مدينة بام؛ إذ لم تستطع المباني التقليدية المبنية بالطوب اللبن مقاومة اهتزاز الأرض، أما عام ٢٠٠٥، فقد لقي أكثر من ٨٠ ألف شخص مصرعهم في زلزال كبير ضرب باكستان.

خلال الألفية الماضية تسببت الزلازل في مصرع ٨ ملايين شخص على الأقل. وبالرغم مما يثيره هذا الرقم من ذعر، فإن النمو السريع للمدن الكبرى في المناطق المعرضة لخطر الزلازل سيؤدي إلى تجاوزه ربما في القرون القليلة القادمة. يحذر بعض علماء الزلازل الآن بالفعل من إمكانية وقوع زلزال كبير في المستقبل القريب يودي بحياة ٣ ملايين شخص. إذا ضرب الزلزال كراتشي أو مكسيكو سيتي، فمع أن عواقبه ستكون وخيمة على باكستان والمكسيك، سيكون تأثيره العالمي ضئيلًا للغاية يكاد لا يؤثر على حياة معظم سكان العالم. أما إذا ضرب الزلزال العاصمة اليابانية طوكيو، فسيختلف الأمر كلية. تشير التوقعات الخاصة بعام ٢٠١٥ إلى أنه بحلول ذلك الوقت سيشكل التوسع المدني لطوكيو-يوكوهاما أكبرَ تجمع حضري على وجه الأرض بتعداد سكان يقترب من ٣٦ مليون نسمة. تقع هذه المدينة في أحد أكثر أجزاء الكوكب المعرضة للزلازل؛ حيث توجد في شرقها صفيحتا المحيط الهادي والفلبين اللتان تقعان تحت الصفيحة الأوراسية العملاقة، وقد دمرها زلزال ضخم قبل أقل من ٨٠ عامًا. ومع أن الأمور هادئة هدوءًا حذرًا منذ ذلك الحين، فإنه لن يطول بنا المقام قبل أن يأتيَ زلزال كبير آخر ليدمر أحد معاقل المؤسسات الصناعية الكبرى في العالم. وعندما يحدث ذلك، ستندفع موجات الصدمة الاقتصادية بقوة وبسرعة في أنحاء الكوكب لتكسر شوكة بلدان العالم واحدًا تلو الآخر. ولكي نتعرف أكثر على المصير الذي ينتظر العاصمة اليابانية، دعونا نُلقِ نظرة على واحدة من الكوارث الكبرى التي شهدها القرن العشرون، أعني الحدث الجلل الذي يسمِّيه اليابانيون «زلزال كانتو الكبير».

بزغ فجر اليوم الأول من سبتمبر عام ١٩٢٣ على سكان طوكيو ويوكوهاما كأي يوم آخر، لكنه كان آخر عهد الكثيرين منهم بهذه الدنيا. وقع الزلزال قبيل الظهيرة،



شكل ٤-٤: لم يبقَ في طوكيو سوى أطلال بعد أن ظلت تحترق على مدار يومين كاملين بنيران الحرائق التي اندلعت إثر وقوع زلزال كانتو الكبير عام ١٩٢٣.[2]

عندما كانت المقاهي والمطاعم تعج بالعمال الجياع، وكانت الأسر مجتمعة في المنازل أمام وجبة الغداء. في بادئ الأمر كان هناك هدير خافت وعميق، سرعان ما تحول إلى هدير مرعب حين انشق الصدع الموجود أسفل خليج ساجامي، وأرسل موجات صدمة تشق الأرض شمالًا نحو المدينتين التوءمتين، فنالت من يوكوهاما أولًا، ولم يمضِ على ذلك ٤٠ ثانية حتى ضربت قلب العاصمة نفسها. بلغت شدة الزلزال ٨٫٣ درجات على مقياس ريختر، وكان اهتزاز الأرض من الشدة بحيث كان من المستحيل على المرء حينها أن يقف على قدميه. في غضون ثوانٍ، انهارت آلاف المباني التي كان العديد منها ذا جدران خشبية تقليدية وأسقف قرميد ثقيلة، فصارت أكوامًا من الأنقاض، لتُنهيَ حياة قاطنيها. وبعد الضوضاء والجلبة الناتجة عن انسحاق الصخور وانهيار المباني، انطلقت أصوات طقطقة أكثر هدوءًا — وإن كانت لا تقل رعبًا — للنيران؛ حيث بدأت الحرائق التي سببها انقلاب آلاف المواقد تلتهم الأخشاب التي بُنيت منها العديد من المباني. ثم جاءت رياح سريعة لتحرك مليون حريق صغير شكلت مجتمعةً جدرانًا من اللهب تلتهم كل ما في طريقها وسط الأنقاض. حاول الرجال والنساء والأطفال الذين هالتهم الصدمة

أن يحتموا في المساحات المفتوحة، ولكن دون جدوى؛ إذ أحرقتهم العواصف النارية وهم أحياء. في منطقة واحدة من الأرض لقي ٤٠ ألف شخص مصرعهم حرقًا، وهؤلاء كانوا مكدسين في تلك المنطقة، حتى إنه قد عُثر على الجثث متفحمة في وضع الوقوف. واصلت النيران التهام ما تبقى من المدينتين يومين كاملين، قبل أن تنطفئ أخيرًا لتكشف عن مشهد من الخراب التام. لن نعرف أبدًا المجموع الحقيقي للضحايا، ولكن يمكن القول إن ما يصل إلى ٢٠٠ ألف شخص فقدوا أرواحهم بسبب ذلك الزلزال وما تلاه من حرائق. وكانت كلفة ذلك على الاقتصاد الياباني هائلة؛ إذ قُدرت بنحو ٥٠ مليار دولار بأسعار اليوم، وأدَّى اتحاد آثار ذلك الزلزال مع آثار «الكساد الكبير» الذي أعقبه بعد ست سنوات إلى انهيار اقتصادي ومعاناة قاسية. بل إن البعض يرى أن تلك الظروف — كما هي الحال في جمهورية فايمار الألمانية — ساعد على تأجيج نيران القومية وصعود الجيش؛ ما أدَّى إلى وقوع عمليات الاحتلال، وظهور الإمبريالية، ونشوب الحرب في نهاية المطاف.

في السنوات الأولى من الألفية الجديدة، تنتظر المدينتان التوءمتان طوكيو ويوكوهاما مرة أخرى مصيرهما، ولكن هذه المرة سيكون الأمر أسوأ بكثير، سواء لليابان أو لبقية العالم؛ فالآن تشكل القوة الصناعية والتجارية لتلك المنطقة أحد المحاور الرئيسية في السوق العالمية، ولها أذرع تمتد إلى أقصى الأماكن على سطح الأرض؛ مما يخلق آلة اقتصاد عالمية تعتمد عليها الآن ثروات كل الأمم. حين تسقط طوكيو، ستسقط اليابان، وستتبعها بقية دول العالم، لكن متى؟ يتراكم الإجهاد في الصخور تحت العاصمة وحولها منذ ٧٨ سنة، وبصرف النظر عن الصغر النسبي للزلزالَين اللذين وقعا عامَي ١٩٩٢ و٢٠٠٥ — بقوة ٥٫٩ درجات على مقياس ريختر — كانت المنطقة وما زالت هادئة من حيث النشاط الزلزالي. ومع ذلك فالحكومة والسكان هناك على علم بأن هذا الوضع لا يمكن أن يظل هكذا، ونرى الآن أموالًا طائلة تُنفق على تشييد المباني المقاوِمة للزلازل، وتحسين التثقيف والتخطيط لحالات الطوارئ، بل وعلى محاولات تحديد توقيت دقيق لموعد الزلزال الكبير التالي. ومع ذلك، ثبت حتى الآن أن التنبؤ الدقيق بالزلازل بعيد المنال، وأن احتمالات تحقيق إنجاز في هذا الصدد في المستقبل القريب ضئيلة. وعلاوةً على ذلك، فإن نسبة كبيرة من المباني القديمة لا تزال عرضة للانهيار إن وقع أحد الزلازل، ولا يزال هناك نحو مليونَي مبنًى خشبيٍّ تمثل مصدرًا مرشحًا بقوة لاندلاع الحرائق التي تعقب الزلازل. منذ عشر سنوات فقط، لقي ٦٠٠٠ شخص حتفهم بسبب زلزال ضرب مدينة

كوبي التي تقع على بُعد ٤٠٠ كيلومتر جنوب طوكيو، وهو ما يمكن اعتباره صورة مصغرة للكارثة التي تنتظر العاصمة اليابانية. ساهمت الحرائق في كوبي بنصيب كبير في الدمار الكلي وفي الخسائر الاقتصادية الضخمة التي بلغت قيمتها ١٥٠ مليار دولار أمريكي، وبدا واضحًا أن التأهب لحالات الطوارئ والاستجابة لها بعيدان كل البُعد عن الفاعلية، وبالتأكيد أقل بكثير من توقعات بقية العالم، وذلك بالنظر إلى الانطباع العام بأن المجتمع الياباني نموذج للكفاءة. لسبب أو لآخر عجزت السلطات اليابانية عن التعامل مع تداعيات تلك الفاجعة؛ فلم تكن هناك خطط تضمن نقل الإمدادات والمعدات في حالات الطوارئ إلى حيث توجد حاجة إليها؛ إذ سُدت الطرق بسبب الحطام وتعطلت السكك الحديدية، ولعدة أيام بعد الزلزال لم يتلقَّ العديد من مئات الآلاف من المشردين في المدينة أي مساعدات، أو تلقَوْا مساعدات ضئيلة. من الإنصاف أن نقول إن بعض المشكلات التي ظهرت في كوبي تعكس الهيكل الهرمي للمجتمع الياباني الذي يعيق صنع القرار والعمل المستقل، ويعيق الاستجابة السريعة في حالات الطوارئ. إن لم تحدث تغييرات كبيرة في هذا الشأن، فمن الصعب أن نرى كيف يمكن لأي خطة طوارئ خاصة بالزلازل في طوكيو أن تنجح في ظل القيود التي تفرضها مثل هذه النظم الاجتماعية المقيِّدة والمتجذرة في المجتمع الياباني.

يتسم الوضع الجيولوجي لطوكيو ويوكوهاما بالتعقيد حيث توجد ثلاث صفائح تكتونية كبيرة تتلاقى هناك. فالإجهادات الهائلة التي تصاحب الحركات النسبية لتلك الصفائح يُتخلص منها دوريًّا عن طريق إزاحات مفاجئة على طول الصدوع الموجودة هناك، التي بدورها تؤدي إلى وقوع زلازل مدمرة. الواقع أن هناك الكثير من الصدوع النشطة في المنطقة المجاورة لدرجةٍ تجعل المنطقة معرضة لخطر وقوع زلازل كبيرة، وذلك في أربعة مواضع مختلفة يرى علماء الزلازل أن وقوع زلزال بها قد تأخر عن موعده أو على الأقل صار وشيكًا. على بُعد نحو ٧٥ كيلومترًا جنوب طوكيو ويوكوهاما، وعلى مقربة من مدينة أُوداوارا، يتوقع العلماء حدوث زلزال تتراوح قوته بين ٦٫٥ و٧ درجات على مقياس ريختر في أي لحظة. ومع ما سيسببه ذلك من أضرار جسيمة للمنطقة، وأضرار متوسطة في طوكيو ويوكوهاما، فليس من المرجح أن يضرب العاصمة بنفس قوة زلزال عام ١٩٢٣. وبالمثل، هناك زلزال وشيك يُسمى بزلزال توكاي ويقع تحت خليج سورجا، وعلى بُعد ١٥٠ كيلومترًا إلى الجنوب الغربي. ويتوقع العلماء أن يكون الزلزال هائلًا حيث ستبلغ قوته ٨ درجات على مقياس ريختر، ويتوقعون أنه بلا شك سيضرب

مدينة شيزوكا الساحلية، لكن من المحتمل أن يكون هو الآخر بمنأًى عن العاصمة بحيث لا يكون له تأثير كبير عليها. وهناك زلزالان آخران — يثيران قلقًا أشد بكثير مما سبق ذكره — يتوقع العلماء حدوثهما بحيث يشكلان خطرًا أكبر بكثير على طوكيو، ويترقبهما العلماء ببالغ الخوف. يتوقع علماء الزلازل أن زلزالًا كبيرًا بقوة ٧ درجات على مقياس ريختر قد يحدث في أي وقت، وذلك أسفل العاصمة اليابانية مباشرة. وهذه الكارثة — التي تُعرف محليًّا باسم زلزال تشوكا-جاتا — ستُلحِق بالعاصمة اليابانية أضرارًا بالغة، مع أن يوكوهاما من المرجح أن تكون أقل تضررًا. والأسوأ من ذلك كله، قد تتكرر كارثة زلزال كانتو الكبير الذي وقع عام ١٩٢٣ قبل مرور قرن من الزمان. ومن المرجح أن يكون ذلك في صورة زلزال هائل بقوة ٨ درجات على مقياس ريختر يقع نتيجة انشطار الصدع الواقع تحت خليج ساجامي إلى الجنوب. وكما كانت الحال منذ ما يقرب من ٨٠ عامًا، فإن موجات الصدمة ستندفع شمالًا، فتُسرع في بداية الأمر نحو يوكوهاما، ثم لا تمضي نصف دقيقة حتى تضرب طوكيو نفسها.

لا تزال الحكومة اليابانية تصر على أن علماءها سيكتشفون أمارات الإنذار قبل وقوع الزلزال الكبير بوقت كبير. وهذا اليقين في العلم نادر ومؤثر، لكنه في هذه الحالة في غير محله تمامًا. لو عدنا إلى الوراء لرأينا أنه قد لوحظ أن بعض الزلازل قد يسبقها هبوط في مستويات المياه في الآبار والحفر، وقد تسبقها كذلك تركيزات مرتفعة من غاز الرادون المشع تنبعث من الصخور، لكن هذا لا يكون ملحوظًا دائمًا. علاوةً على ذلك، فإن مثل تلك التغييرات قد تحدث دون أن يعقبها زلزال، وهو ما يجعلها غير جديرة بالثقة فيما يتعلق بأغراض التنبؤ. زعمت مجموعة من العلماء اليونانيين أن بوسعهم اكتشاف إشارات كهربية في القشرة الأرضية قبل وقوع الزلازل، لكن ليست هناك أدلة مقنعة على هذا، وهو ما كان موضع سخرية معظم علماء الزلازل. من ناحية أخرى، يبدو أن ثَمَّةَ شيئًا من الصواب في فكرة أن الحيوانات والطيور والأسماك تتصرف بغرابة قبل وقوع الزلازل، وبالفعل يُجري اليابانيون أبحاثًا جادة لمعرفة ما إذا كان سمك السِّلَّوْر — من بين كائنات حية أخرى — يمكن أن يساعد في التنبؤ بالزلزال الكبير قبل وقوعه. المشكلة هنا أن لا أحد يعرف كيف يمكن للحيوانات الكشف عن الزلازل قبل حدوثها، وإن كان يقال إن الإجهاد في الصخور يولِّد شحنات كهربية في فراء الحيوانات وريشها، وربما حتى في القشور التي تغطي أجسام الأسماك، فتتولد عن ذلك صدمات كهربية صغيرة؛ مما يصيب الحيوانات بحالة من التوتر والهياج غير معروفة السبب. لكن هذا يطرح السؤال التالي: كيف يمكننا أن نقطع بأن حيوانًا كالخنزير مثلًا يتصرف بغرابة؟

في حالة غياب الإنذار الذي من المفترض أن يطلقه سمك السلور، يكون من المحتمل إذنْ أن الزلزال الكبير المقبل سيضرب طوكيو دون أي تحذير على الإطلاق. ستتحمل المباني التي شُيدت مؤخرًا الكارثة إلى حدٍّ معقول، لكن العديد من المباني القديمة سيكون مصيره الانهيار. بالرغم من تركيب أجهزة الإغلاق التلقائي للغاز في بعض المباني، فإن انفجار خزانات الوقود وتحطم أنابيب الغاز، والانسكابات النفطية والكيميائية، سيضمن اندلاع عدد من الحرائق يكفي لالتهام مليون مبنًى خشبي. وكما كانت الحال عام ١٩٢٣، من المتوقع أن تتسبب الحرائق الهائلة في دمارٍ لا يقل عن الدمار الذي يحدثه الزلزال نفسه، وأن تؤديَ إلى زيادة كبيرة في أعداد الضحايا الذين يقدَّرون بنحو ٦٠ ألف شخص. ومع أنه من الصعب إجراء تقدير سابق للخسائر الاقتصادية الناتجة عن ذلك الزلزال الكبير، خرجت علينا إحدى شركات وضع النماذج التي تخدم صناعة التأمين لتقول إن تلك الخسائر ستبلغ ٣٫٣ تريليونات دولار أمريكي. وهذا من شأنه أن يجعل كلفة زلزال طوكيو القادم تفوق ٢٠ مرة كلفة كارثة كوبي التي هي حتى الآن الكارثة الطبيعية الأكثر كلفة في تاريخ البشرية، وتفوق ٦٠ مرة كلفة زلزال نورثريدج الذي وقع في ولاية كاليفورنيا عام ١٩٩٤، وهي الكارثة الطبيعية الأكثر كلفة في تاريخ الولايات المتحدة.

يتوقع الكثيرون أن ينسف ذلك الحدث الجلل الاقتصاد الياباني نسفًا؛ فاليابان دولة مركزية، وإقليم طوكيو لا يستضيف الحكومة اليابانية فحسب، بل وسوق الأسهم، إضافةً إلى ٧٠ بالمائة من المقرات الرئيسية لكبرى الشركات اليابانية والعالمية. والاقتصاد الياباني هو ثاني أكبر اقتصاد في العالم، ويمثل ٥١ بالمائة من الناتج المحلي الإجمالي في آسيا و١٣ بالمائة من الناتج المحلي الإجمالي العالمي، وبالرغم من أزمتها الاقتصادية الحالية، فمن المرجح أنها ستظل قوة اقتصادية حتى بعد أن يضربها ذلك الزلزال الكبير في نهاية المطاف. ومن أجل إعادة بناء اليابانيين لبلادهم وتجديدها، من المرجح أنهم سيُضطرون لسحب استثماراتهم من الخارج على نطاق واسع، فيُغرقون السندات الحكومية في أوروبا والولايات المتحدة، ويبيعون الأصول الأجنبية، ويغلقون مصانعهم خارج اليابان. ومن المرجح أنه حين تصارع الدول واحدة تلو الأخرى من أجل مواجهة الانهيار السريع للاقتصاد العالمي، ستحل عما قريب فترة كساد اقتصادي لا مثيل له منذ كساد عام ١٩٢٩ عندما أغلق انهيارُ وول ستريت ١٠٠ ألف شركة في الولايات المتحدة وحدها. ولن نفاجأ حينها عندما تصل نسب البطالة إلى أبعاد مذهلة، وعندما يبدأ النسيج السياسي والاجتماعي للكثير من الدول في التمزق. لا أحد يعلم كم من الوقت سيستمر

كساد ما بعد زلزال طوكيو — ربما سنواتٍ أو حتى عقودًا — أو أيَّ مدًى سيبلغ من السوء. وعلى القدر نفسه من الأهمية، كم من الوقت علينا أن ننتظر حتى يتحقق ذلك السيناريو المتوقع ويصير واقعًا ملموسًا؟ ربما عقودًا، وربما مائة سنة أخرى أو أكثر، لكن لن نفاجأ حين نشهد انهيار تلك المدينة الكبرى قبل حلول فجر القرن القادم.

مع أنهم في وسائل الإعلام كثيرًا ما يصورونني على أنني «رجل الكوارث»، فإنه يسوؤني أن تعتبرني نذير شؤم، فتغلق الكتاب عند هذا الحد، وتشعر باليأس من المستقبل. صحيح أن كوكب الأرض حافل بالأخطار من الناحية الجيولوجية، وأنه كلما تعمقنا أكثر في دراسة هذا الكوكب تجلى لنا الخطر الكامن الذي تمثله الصفائح التكتونية على بقاء حضارتنا، لكن من ناحية أخرى، نحن نتعلم طوال الوقت؛ فنجمع البيانات التي يمكن استخدامها لمواجهة آثار أمواج تسونامي العملاقة القادمة أو الانفجارات البركانية الهائلة المقبلة أو التخفيف منها على الأقل. في نهاية المطاف، سيكون ممكنًا — على الأرجح — التنبؤ بالزلازل بشيءٍ من الدقة، وبالتأكيد في غضون قرن من الزمان ستنجح أقمارنا الصناعية في رصد أي مكان على هذا الكوكب به جزيرة بركانية غير مستقرة، أو مكان به انتفاخ لسطح الأرض بسبب دفعة جديدة هائلة من الصهارة، وذلك قبل وقوع الكارثة بوقت طويل. يتناول علماء الأرض بصورة شبه يومية بعض أكبر الأخطار التي تهدد مجتمعنا، وتدريجيًّا يدركون ماهيتها وكيفية التعامل معها. وعلى أقل تقدير، في المرة القادمة حين تهتز الأرض على نطاق واسع سنكون أكثر استعدادًا بكثير من أسلافنا الأوائل الذين واجهوا بركان توبا وقد استحوذ عليهم الفزع المطلق وعدم الفهم.

## حقائق مثيرة للقلق

- في المتوسط يقع انفجاران بركانيان هائلان كل ١٠٠ ألف سنة.
- عقب انفجار بركان توبا الهائل قبل ٧٤ ألف سنة، وقع العالم أسير شتاء بركاني لمدة ست سنوات على الأقل.
- في أعقاب كارثة توبا، من المحتمل أن يكون عدد البشر في العالم قد انخفض إلى بضعة آلاف فقط.
- في عام ١٩٤٩، حدث انهيار أرضي هائل في الجهة الغربية من بركان كمبر فيجا في لا بالما (جزر الكناري) بمقدار ٤ أمتار بين عشية وضحاها.

- عندما انهار كمبر فيجا في البحر، ضُربت المدن الساحلية في الجهة الشرقية من الولايات المتحدة الأمريكية بأمواج تسونامي وصل ارتفاعها إلى ٥٠ مترًا.
- من المتوقع أن يسبب الزلزال الكبير المقبل في طوكيو خسائر تتجاوز قيمتها ٣٫٣ تريليونات دولار أمريكي، وربما يؤدي إلى انهيار الاقتصاد العالمي.

## هوامش

(1) *Apocalypse,* Cassell, 1999.

(2) © Hulton Archive/Getty Images.

الفصل الخامس

# الخطر القادم من الفضاء

## الاصطدام بكويكب أو مُذَنَّب

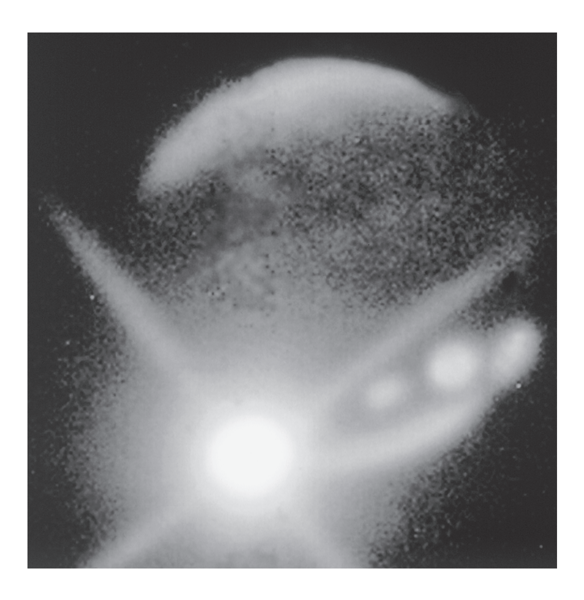
### الحدث الفلكي الأبرز في هذا القرن

في عام ١٩٩٣ جاء اكتشاف كارولين شوميكر — زوجة عالم الكواكب الراحل يوجين شوميكر الذي حزن على رحيله الكثيرون — وزميلها ديفيد ليفي ليغير إلى الأبد تصورنا عن الأرض كملاذ آمن ومريح معزول عن أصوات الطنين والانفجارات التي تحدث في كونٍ عنيفٍ متقلب. كان فريق شوميكر قد رصد ٢١ كتلة صخرية ضخمة كانت ذات يوم جزءًا من مُذَنَّب تمزَّق بفعل مجال الجاذبية الهائل لكوكب المشتري، وهو كرة عملاقة تتألف أساسًا من غازَي الهيدروجين والهيليوم، وتبلغ من عِظَم الحجم ما يكفي لتضم داخلها أكثر من ١٣٠٠ أرض مثل أرضنا. لكن بدلًا من الدوران حول الشمس — كما تفعل معظم المذنبات — أمسكت بها جاذبية كوكب المشتري، فصارت تلك الشظايا الصخرية الآن تدور حول كوكب المشتري نفسه الذي يطلَق عليه «ملك الكواكب». وبما أن كوكب المشتري لديه بالفعل عدد كبير من الأقمار، فإن إضافة عدد قليل إلى تلك الأقمار لم يكن مثيرًا للاهتمام كثيرًا، إن لم يكن مستغربًا. إلا أن الغريب في الأمر هو أن تلك «الأقمار» الجديدة كانت سريعة الزوال للغاية. فما إن يمر عام حتى ينتهيَ وجود تلك «الأقمار» عن طريق اصطدامها بسطح كوكب المشتري، وهو ما يمنح العلماء على الأرض فرصةَ النظرِ إلى ما يحدث عندما يُضرب كوكب بكتلة كبيرة من الحطام الفضائي.

في السادس عشر من شهر يوليو عام ١٩٩٤ — الذي كان يوافق ذكرى مرور ٢٥ عامًا على إطلاق أبولو ١١، وهي أول بعثة فضائية للبشر تهبط على سطح القمر — ضرب أول جزء من مُذَنَّب شوميكر-ليفي كوكب المشتري مسببًا تصاعد سحابة ضخمة من الغاز والحطام، ومفجرًا موجة صدمة سريعة الانتشار. ولما توالت الشظية تلو الشظية على ضرب كوكب المشتري جُمعت صور رائعة عن طريق التليسكوب الفضائي «هابل» الذي يدور في مدار حول الأرض، وعن طريق المسبار الذي يعمل دون طاقم «جاليليو» وهو في طريقه إلى كوكب المشتري. وبعد يومين من وقوع الاصطدام الأوَّلي اصطدمت كتلة صخرية قطرها أربعة كيلومترات — يُطلق عليها اسم الشظية «جي» — بكوكب المشتري بقوة تعادل قوة انفجار ١٠٠ مليون مليون طن من مادة تي إن تي الشديدة الانفجار؛ وهو ما يعادل تقريبًا ثمانية مليارات قنبلة ذرية في حجم تلك التي ضربت هيروشيما. وكان الوميض الناتج عن ذلك الاصطدام المثير من الشدة حتى إن العديد من تليسكوبات الأشعة تحت الحمراء التي كانت ترقب الحدث حُجبت عنها الرؤية مؤقتًا. ومع ذلك فقد تلاشى ذلك الوميض سريعًا ليكشف عن أثر داكن هائل للاصطدام تفوق رقعته حجم كوكب الأرض. وحتمًا مَرَّ بذهن كل من رأى تلك الصورة الرهيبة الخاطرُ نفسُه: ماذا كان سيحدث لو أن الشظية «جي» ضربت كوكب الأرض بدلًا من كوكب المشتري؟

بين عشية وضحاها بدا كوكبنا مكانًا أكثر عرضة للخطر، وبدت سيطرة الجنس البشري على الكوكب أوهى بكثير. وفجأةً بدأ العلماء، وعامة الناس، بل والسياسيون، يأخذون الخطر الآتيَ من الفضاء على محمل الجد. وظهر اثنان من أكثر أفلام هوليود رواجًا ليزيدا من الاهتمام المتصاعد بأحداث الاصطدام عن طريق إظهار ما يمكن أن يحدث — بدرجات متفاوتة من الدقة العلمية — في حال تحرك مُذَنَّب أو كويكب باتجاه الأرض.

في عام ١٩٩٦؛ أي بعد عامَين فقط من اصطدام كوكب المشتري، شُكِّلت هيئة دولية تُعرف باسم مؤسسة «حماية الفضاء» كرست أهدافها لتعزيز البحث عن الكويكبات والمذنبات التي يُحتمل أن تكون خطرة، ولرفع المستوى العام للوعي بخطر اصطدامها بالأرض. في الولايات المتحدة، بدأت وكالة ناسا ووزارة الدفاع — وإن كان بقدر قليل — تمويل المشاريع ذات الصلة بتلك الهيئة، وأنشأت حكومة المملكة المتحدة فريق عمل لدراسة خطر اصطدام الكويكبات والمذنبات بالأرض. فجأةً صار الجميع يريدون أن



شكل ٥-١: الاصطدام المذهل لإحدى شظايا مُذَنَّب شوميكر-ليفي بكوكب المشتري عام ١٩٩٤.[1]

يعرفوا ما هي احتمالات اصطدام الأرض بشيءٍ من هذا في مرحلةٍ ما في المستقبل، وماذا سيكون أثر ذلك التصادم على كوكبنا وعلى جنسنا البشري. والجواب عن السؤال الأول سهل: الاحتمال يبلغ مائة بالمائة. عبر تاريخ الأرض الطويل مُنيت الأرض بضربات كثيرة من حطامٍ جاء من الفضاء، ومع أن مثل هذه التصادمات صارت الآن أقل شيوعًا بكثير مما كانت عليه منذ مليارات السنين، فإن كوكبنا سيُضرب مرة أخرى. والسؤال الجوهري: متى سيكون هذا؟ وأما عن السؤال الآخر بخصوص مدى سوء أثر ذلك على الجنس البشري، فهذا يعتمد كثيرًا على حجم الكتلة الصخرية التي ستصطدم بالأرض.

## العاصفة الرملية الكونية

إن أردنا الحصول على فكرة أفضل عن الوتيرة التي من المرجح أن تحدث بها تلك الاصطدامات بكوكب الأرض، فنحن بحاجة إلى معرفة عدد الصخور التي تندفع في أرجاء نظامنا الشمسي، وعلى وجه الخصوص، عدد ما يقترب منها من كوكب الأرض بما يكفي

ليثير قلقنا. ومع أن كمًّا هائلًا من الحطام قد جرفته الكواكب في مرحلة تكوُّنها خلال فجر النظام الشمسي، فقد ظلت هناك بقايا لا تُعد ولا تُحصى تتراوح أحجامها صعودًا من ذرات صغيرة لا يعدو قطرها بضعة مليمترات إلى صخور ضخمة، مثل كويكب سيريس الصغير الذي يتجاوز قطره ألف كيلومتر. الأرض دائمة التعرُّض للقصف في أثناء رحلتها عبر النظام الشمسي، تمامًا كمن يصارع عاصفة رملية في الصحراء. ولحسن حظنا فإن معظم المليارات من الشظايا التي تصطدم بكوكبنا ضئيلة الحجم للغاية، وتختفي ما إن تحتك بدرع الغلاف الجوي لكوكبنا. ومع ذلك، فبين الحين والآخر تصطدم الأرض مع أجرام سماوية أكبر حجمًا.

كل خمس دقائق تأتي إلينا شظية من الحطام في حجم حبة البازلاء فتحترق حين تحتك بالغلاف الجوي للأرض، في حين أنه في كل شهر تقريبًا تأتي إلينا شظية من الحطام في حجم كرة القدم فتضيء السماء مع احتراقها في الغلاف الجوي. وقد تنجح بعض الأجرام الأكبر حجمًا في اجتياز الغلاف الجوي للأرض والوصول إلى سطحها، لكنه أمر نادر الحدوث، ولا يحدث إلا بضع مرات في السنة. وربما يحدث كل بضعة قرون أن تصطدم بالأرض صخرةٌ يتراوح قطرها بين ٤٠ و٥٠ مترًا، وجِرم بهذا الحجم كفيل بأن يطمس من الوجود مدينة كبيرة بأكملها لو كان اصطدامه بالأرض مباشرًا. وقد وقع آخر اصطدام موثَّق من هذه النوعية عام ١٩٠٨، وسنعاود الحديث عن هذه النقطة لاحقًا.

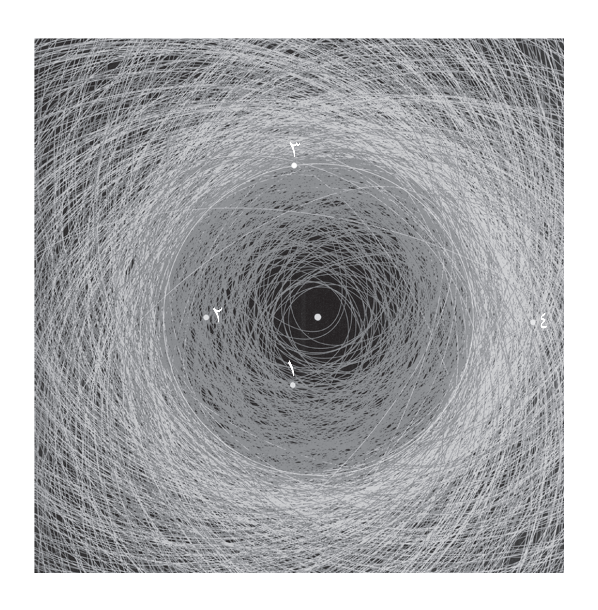
مع أن النظام الشمسي بأكمله يعج بالحطام، فمن منظور الخطر نحن لا نهتم إلا بتلك الشظايا التي تهدِّد بإنهاء وجودها عن طريق التصادم مع كوكبنا. وغالبية تلك الأجرام التي تهدد الأرض هي كويكبات صخرية لها مدارات حول الشمس تقترب من مدار الأرض أو تتقاطع معه. ومن المستحيل تحديد الأعداد الحقيقية لهذه الكويكبات القريبة من الأرض، لكن التقديرات الحالية تبعث على الفزع.

وإجمالًا هناك ما يصل إلى ٢٠ مليون كتلة صخرية يتجاوز قطرها ١٠ أمتار ربما تندفع الآن عبر مسار كوكبنا خلال دورانه حول الشمس أو بالقرب منه. ويُعتقد أن ما يصل إلى ١٠٠ ألف من هذه الكتل الصخرية يتجاوز قطرها ١٠٠ متر، وهو ما يكفي لإبادة مدينة مثل لندن أو نيويورك إن كانت الضربة مباشرة، بينما قد يصل قطر ٢٠ ألفًا منها إلى نصف كيلومتر، وهي بهذا كفيلة بأن تُبيد دولة صغيرة إذا ضربت اليابسة، أو تولِّد أمواج تسونامي مدمرة إذا ضربت المحيط. وهناك كويكبات أقل عددًا — ولكن أشد تدميرًا — يبلغ قطرها كيلومترًا واحدًا أو أكثر، وهي بذلك قد تُبيد بلدًا مساحته مثل

مساحة إنجلترا، وغيرها مما يبلغ قطره كيلومترين أو أكثر قد يلحق الدمار التام بجميع أنحاء العالم. القدر الهائل لطاقة الحركة التي يتضمنها اصطدام جرم قطره كيلومتران — أي ما يعادل في الطول ٢٠ ملعب كرة قدم مصطفة في خط واحد — بالأرض كفيلة بأن تخلِّف وراءها فوهة قطرها ٤٠ كيلومترًا أو نحو ذلك، وأن تتسبب في تصاعد قدر من الحطام المسحوق إلى الغلاف الجوي يكفي لحجب أشعة الشمس وغمر الأرض بشتاء كوني قارس البرودة يستمر سنوات.

نُشرت مجموعة من التقديرات لعدد الكويكبات القريبة من الأرض التي يبلغ قطرها كيلومترًا واحدًا فأكثر، وتشير أحدث تلك التقديرات إلى أن عددها يقارب الألف. في شهر أغسطس عام ٢٠٠٥، كان العلماء قد حددوا ٧٩٤ جرمًا من هذه الأجرام — ربما ما يعادل ثلاثة أرباع مجموعها الكلي — ومداراتها المتوقعة مستقبلًا لمعرفة ما إذا كانت تشكل خطرًا على الأرض في المدى المتوسط أم لا، والبحث مستمر للعثور على تلك الأجرام كلها؛ وهي مهمة من شأنها أن تستغرق بضعة عقود أخرى على الأقل. بمجرد أن ينتهيَ ذلك، وعلى افتراض أنها ستكون بمنأًى عنا، يمكننا حينها أن نشعر بقدر ولو بسيطًا من الطمأنينة. لكن للأسف لا تنتهي المشكلة عند هذا الحد؛ فلا يزال علينا القلق بسبب المذنبات.

المذنبات عبارة عن كميات هائلة من الصخور والجليد قد يصل قطرها إلى ١٠٠ كيلومتر أو أكثر. وعلى النقيض من المدارات شبه الدائرية للكويكبات، نجد معظم المذنبات تتبع مسارات إهليجية الشكل تحملها من المواضع الشديدة البرودة في النظام الشمسي الخارجي، أو ما يقع وراءه، إلى أن تصير على مقربة من الشمس، ثم تخرج مرة أخرى. وفي أعماق الفضاء تكون المذنبات أجرامًا غامضة يصعب رصدها. ومع ذلك فحين تدخل إلى داخل النظام الشمسي تخضع لتحوُّل ملحوظ؛ حيث يبدأ ضوء الشمس في تبخير الغاز وجسيمات الغبار الموجودة في نواتها المركزية، فيتشكل «ذيل» بديع المنظر يمكن أن يمتد عبر الفضاء على مسافة ١٠٠ مليون كيلومتر أو أكثر. ولطالما نظرت البشرية إلى ظهور ذلك الذيل الخلاب في مؤخرة المذنب على أنه نذيرُ شؤمٍ بالموت والكوارث، وهو اعتقاد لا يبعد عن الحقيقة بصورةٍ ما. وتتراوح سرعة المذنبات عادةً بين ٦٠ و٧٠ كيلومترًا في الثانية، وهذه سرعة تفوق سرعة طائرة من طراز كونكورد مائة مرة، وتعادل نحو ثلاثة أضعاف سرعة الكويكبات القريبة من الأرض. وهذا يجعل وقوع تصادم بين أحد المذنبات والأرض أشد تأثيرًا؛ ومن ثَمَّ أشد تدميرًا وفتكًا.




شكل ٥-٢: مدارات الكويكبات المعروفة القريبة من الأرض تقدم صورة واضحة عن مدى ازدحام الفضاء حول كوكبنا. تظهر أيضًا مدارات كلٍّ من (١) عُطارد (٢) الزُّهرة (٣) الأرض (٤) المِريخ.

هناك مشكلة أخرى تتعلق بالمذنبات، وهي أن البارامترات المدارية لها — خلافًا للكويكبات — لا نعرف عنها سوى القليل؛ ومن ثَمَّ فمن الصعب استشراف المستقبل لمعرفة ما إذا كانت تشكل أي تهديد أم لا. يتبع مذنب هالي — وهو بلا شك المذنب الأكثر شهرة — مدارًا حول الشمس يستغرق إكماله ٧٦ سنة فحسب. ونتيجةً لذلك، فقد شوهد عشرات المرات على مدى آلاف السنين، ومداره معروف بدرجة تجعل من الممكن حساب مساره في المستقبل البعيد. وهذا يدل على أن المذنب هالي لن يقترب من تهديد كوكب الأرض، على الأقل حتى عام ٣٠٠٠ ميلاديًّا. ومع ذلك، فالمذنبات الأخرى تسير في مدارات قطعية مكافئة تأخذها في رحلات بعيدة للغاية قد تصل إلى ما هو أبعد من حدود النظام الشمسي. وقد شاهد أجدادنا الأوائل بعضها مرة واحدة أو مرتين، لكن البعض الآخر قد يكون في أول زيارة له إلى داخل النظام الشمسي. في هذه الظروف، لم تكن هناك أي

فرصة للتنبؤ بمداراتها على أساس ما قامت به من قبلُ من زيارات لنظامنا الشمسي، وإن رأينا لأول مرة أحدها متجهًا نحونا، فلن يكون أمامنا سوى ستة أشهر فقط قبل حدوث اصطدام كارثي لا مفر منه. وعلاوةً على ذلك، فنظرًا لأن هذه المذنبات حبيسة الفضاء الخارجي، فإنها تكون ضخمة؛ إذ ربما يبلغ قطر الواحد منها ١٠٠ كيلومتر أو أكثر. والسبب في ذلك أنها لم تتعرض للتآكل بفعل الرياح الشمسية (دفق الجزيئات الشمسية) التي تتسبب في تبخُّر أجزاء من المذنب لتنتج ذلك الذيل المميز وهي تشق طريقها عبر النظام الشمسي الداخلي.

## عندما تتصادم العوالم

خاض أنصار هذه النظرية نوعًا من الصراع على مرِّ القرون القليلة الماضية لإقناع العلماء وعامة الناس أن ملايين الفوهات الموجودة على سطح القمر لم تظهر نتيجةً لانفجارات بركانية، بل نتيجة اصطدامات مع أجرام من الفضاء. منذ فترة طويلة، وتحديدًا في أوائل القرن التاسع عشر، كان العلماء «الجادون» يسخرون من قول الفيلسوف الطبيعي الألماني البارون فرانز فون بولا جرايتهازن إن تلك الفوهات القمرية كانت نتيجة «قصف كوني وقع في العصور الماضية.» (لا شك أن ادعاءاته الأخرى بشأن الكشف عن أدلة على وجود بشر وحيوانات على سطح القمر ليست لها علاقة تذكر بهذا.) وفي نهاية القرن التاسع عشر، حاول الجيولوجي الأمريكي جروف كارل جيلبرت عمل محاكاة في المختبر لتشكل الفوهات القمرية بإطلاق أجسام إلى أجزاء تتكون من المسحوق أو الطين. ومع ذلك انتابت جيلبرت الحيرة عندما لاحظ أن الأجسام التي أُطلِقت رأسيًّا فقط هي التي شكلت حفرًا دائرية كالتي تغطي سطح القمر. وفي ضوء هذا، أعلن دبليو إم سمارت عام ١٩٢٧ أن الفوهات البركانية الموجودة على سطح القمر لا يمكن أن تكون ناجمة عن اصطدامات؛ لأنه «لا يوجد أي سبب بديهي يفرض على الشهب ألا تسقط إلا عموديًّا.»

وبعد رصد اصطدامات مليارات الأطنان من القنابل التي أُلقيت في الحرب العالمية الثانية فحسب، بدأ الجيولوجيون يرَوْن أنه إن كان الانفجار عنيفًا بما يكفي فدائمًا ما تتشكل بسببه حفرة دائرية مهما كانت زاوية الضرب. بعبارة أخرى، فإن الانفجار الهائل الذي يتولَّد عندما يضرب جرمٌ ما القمر يكاد يسفر دائمًا عن تكوُّن حفرة دائرية. ومن اللافت للنظر أن الأمر قد استغرق ربع قرن آخر لينال القول إن تلك الفوهات تكونت نتيجة اصطدام قبولًا واسع النطاق، وحتى اليوم لا يزال قلة قليلة من العلماء المنشقين يؤيدون

القول إن أصلها بركاني مع أن القول الآخر قامت عليه الأدلة الدامغة. إن نيل أي مبدأ جديد للقبول في الأوساط العلمية معركة، والجيولوجيا ليست استثناءً من ذلك. وكما أن أنصار النظرية الثورية التي تقول بالصفائح التكتونية خاضوا في البداية صراعًا مريرًا ضد القوى الرجعية، فإن أولئك العلماء الذين قالوا إن الأرض، وكذلك القمر، تعرضا لضربات من أجرام سماوية وجدوا صعوبة في إقناع غيرهم بذلك.

منذ فترة طويلة، وتحديدًا عام ١٩٠٥، قال بنيامين تيلجمان إن فوهة بارينجر الشهيرة في ولاية أريزونا (التي أيضًا تُعرف الآن باسم فوهة النيزك) قد تكونت نتيجة «اصطدام نيزك ذي حجم هائل ليس له مثيل إلى الآن.» ومع ذلك لم يقتنع الناس بهذا القول؛ لأن تيلجمان وزميله المهندس دي إم بارينجر ظلَّا ربع قرن ينقِّبان عن الجرم الذي ضرب الأرض هناك لكن دون جدوى. ونحن نعلم الآن أن هذا الجرم قد تبخر بفعل الحرارة الهائلة الناتجة عن الاصطدام، ولكن في ذلك الوقت كان عدم العثور على دليل دامغ كفيلًا بأن يجعل المصداقية من نصيب أصحاب القول الآخر.

بعد نهاية الحرب العالمية الثانية بكثير، عانى العديد من علماء الأرض فقرًا في الخيال؛ إذ قبلوا أن تلك الفوهات الموجودة على القمر إنما هي أثر اصطدام أجرام به، ومع ذلك ظلوا يتمسكون بأي قشة كي لا يؤيدوا القول إن الفوهات الموجودة على كوكبنا هي أثر اصطدام أجرام به. وبالنظر إلى ذلك، وبسبب ما تتمتع به الأرض من حجم أكبر ومجال جاذبية أقوى بكثير، فإنه لا بد أن تكون قد ضُربت ربما بوتيرة تزيد ثلاثين مرة عن الوتيرة التي ضُرِب بها القمر؛ ومن ثَمَّ تزداد غرابة هذا الإنكار. ومع ذلك، ربما لا يكون هذا الإنكار مستغربًا تمامًا، عندما نضع في الاعتبار أن الطبيعة النشطة جدًّا لكوكبنا لا تتواءم تمامًا مع الحفاظ على فوهات اصطدام، لا سيما ما كان منها شديد القِدَم. بسبب الصفائح التكتونية، وعلى وجه الخصوص عملية الاندساس، التي يتم عن طريقها وبشكل مستمر تآكل صفائح المحيطات البازلتية في باطن الأرض الملتهب، نجد أن ما يقرب من ثلثَي سطح الأرض لا يجاوز عمره بضع مئات من ملايين السنين. وإن وضعنا في اعتبارنا أن المرحلة التي شهدت أكبر قدر من القصف كانت خلال مليارات السنين القليلة الأولى من تاريخ كوكبنا، فإن الأدلة على هذا الآن لن توجد إلا في الأعماق القديمة للقارات الجرانيتية التي هي في مأمن من عملية الاندساس. وقد اشتُهر عن تلك الفوهات صعوبة رصدها؛ وذلك نظرًا لتعرضها لأزمان طويلة من التآكل والتعرية. فضلًا عن ذلك فإن أقدم الصخور — التي من المرجح أن تدعم معظم الفوهات — توجد

في مناطق نائية مثل سيبيريا وشمال كندا وأستراليا، وبعض الفوهات كبيرة جدًّا لدرجة أن صورتها الحقيقية لا يمكن رؤيتها إلا من الفضاء. ساعدت الأقمار الصناعية اليوم في تحديد أكثر من ١٧٢ فوهة اصطدام في جميع أنحاء العالم، وفكرة أن الأرض عرضة للقصف من الفضاء صارت الآن مقبولة مثلها مثل نظرية الصفائح التكتونية.

ومع ذلك، فمما لا شك فيه أن الجدل لا يزال قائمًا ومستمرًّا في الأوساط العلمية، ولا سيما حول وتيرة الاصطدامات وانتظامها، وحول آثار الاصطدام الكبير القادم على حضارتنا، وهو ما يهم رجل الشارع على وجه الخصوص. أما عن وتيرة تلك الاصطدامات فهي بعيدة عن أن تكون مسألة هينة، وهناك خلاف كبير بين المدارس الفكرية؛ فمنها ما يذهب إلى القول إن هناك تدفقًا مستمرًّا من تلك الأجرام التي تصطدم بالأرض، ومنها ما يقول بنظرية تُسَمَّى «التجمعات التصادمية». وبالرغم من القصف العنيف جدًّا الذي شهدته الحقبة الأولى من تاريخ الأرض، نجد أتباع نظرية «تواتر الاصطدامات» يرَوْن أن تلك الاصطدامات تقع بمعدل موحد وثابت. وهذا يتعارض مع ما يقوله مناوئوهم من العلماء الذين يروجون لنظرية بديلة هي نظرية «ترابط الكوارث»، التي تقول بأن الأرض — لسبب أو لآخر — تتعرض دوريًّا للهجوم من عدد متزايد من الكويكبات أو المذنبات.

إذا أردنا إجراء تقييم واقعي لخطر الاصطدامات المستقبلية على حضارتنا، فمن الواضح أنه لا بد أن نقرر بأسرع ما يمكن ما إذا كان عدد تلك الاصطدامات سيظل بمعدله الحالي أم أننا سنتعرض في المستقبل لصدمة قاسية تخبئها لنا الأقدار. إذا ثبتت صحة القول الأول، فلنا أن نتوقع أن يظل الوضع على ما هو عليه، وهذا يعني أن تتعرض الأرض كل بضعة قرون أو نحو ذلك لاصطدامٍ بجرم سماوي قطره ٥٠ مترًا من المحتمل أن يدمر مدينة كبيرة بأكملها، وأن تتعرض كذلك كل عدة عشرات من آلاف السنين لاصطدام بجرم سماوي قطره نصف كيلومتر من شأنه أن يدمر دولة صغيرة، وأن تتعرض كل ٦٠٠ ألف سنة لاصطدام بجرم سماوي قطره كيلومتر واحد من شأنه أن يؤثر على العالم أجمع. ولحسن حظنا، يبدو أن أحداث الانقراض الجماعي — مثل ذلك الاصطدام الذي وقع بين الأرض وجرم سماوي قطره عشرة كيلومترات، والذي أنهى عهد الديناصورات قبل ٦٥ مليون سنة — تقع كل ٥٠ إلى ١٠٠ مليون سنة؛ ومن ثَمَّ فإن فرص وقوع واحد منها عما قريب ضئيلة. وبناءً على ما سبق ذكره من معدلات اصطدام أجرام سماوية بالأرض، خرج أنصار نظرية الخطر القادم من

الكويكبات والمذنبات علينا باحتمالات جديرة بالتفكير بشأن التعرض للفناء بسببٍ واحدٍ من تلك الاصطدامات. لو استطعتَ بناء آلة زمن وانطلقت بها إلى المستقبل فوصلت إلى عام ١٠٠٠٢٠٠٥ حيث بحثت واستشرت مركز التسجيلات الكوكبية، لخرجتَ بحقيقة مذهلة، وهي أن عدد من لقوا حتفهم في اصطدامات جوية (وفضائية أيضًا) خلال فترة المليون سنة الفاصلة — الذي قد يتراوح بين ١ و١٫٥ مليار شخص — سيكون ضعف عدد من لقوا مصرعهم بسبب أحداث اصطدام أجرام سماوية بالأرض، والذي قد يتراوح بين ٥٠٠ إلى ٧٥٠ مليون أو أكثر، وذلك على افتراض حدوث تصادم أو اثنين مع جرمين سماويين قُطر الواحد منهما كيلومتر واحد. ومعنى هذا أنه على مدار حياتك يكون احتمال وفاتك بسبب اصطدام كويكب أو مذنب بالأرض نصف احتمال وفاتك في حادث تحطم طائرة، وهو احتمال يدعو للتفكير فيه بجدية لو كان حقيقيًّا. دعونا نوضح الأمر بتشبيهٍ آخر فنقول إن احتمال وفاتك بسبب اصطدام كويكب أو مذنب بالأرض يفوق احتمال فوزك بمسابقة يانصيب بمقدار ٣٥٠ مرة. قد يصيبك هذا بالفزع الشديد، لكن الوضع الحقيقي قد يكون أسوأ من ذلك. إذا كان أصحاب نظرية «ترابط الكوارث» على صواب، فإن تاريخ الأرض قد شهد فترات معينة كان فيها كوكبنا، أو ربما نظامنا الشمسي بأكمله، يدور في بقعة من الفضاء تحتوي على حطام يفوق في كثرته الحد الطبيعي بمراحل؛ ما أدَّى إلى زيادة كبيرة في أحداث الاصطدام على كافة المستويات.

وهناك عدد من النظريات تلقي باللوم في هذه الزيادة الدورية للحطام الفضائي التي تهدد الأرض على الخلل العارض الذي سببته «سحابة أورت»، وهي سرب كروي كبير من المذنبات تغلف نظامنا الشمسي بأكمله فيما هو أبعد من مدار بلوتو. وفي العادة تسير المذنبات في تلك السحابة في مدارات ضخمة تستغرق ما يقرب من ربع الطريق إلى أقرب نجم، ونادرًا ما تدخل النظام الشمسي الداخلي، ولا تفعل ذلك إلا مَثنى وفُرادى. ومع ذلك، يقال إنه إذا تداخل أي تأثير خارجي مع السحابة، فقد يتغير مدار المئات أو الآلاف منها فيحثها ذلك على التوجه نحو الشمس، وهو ما يزيد كثيرًا من خطر تصادمها مع كواكب النظام الشمسي بما في ذلك كوكب الأرض. وقد طرح الباحثون احتمالات متعددة لكيفية حدوث اختلال دوري في سحابة أورت، بسبب المرور عبر سحابة الكوكب إكس الأسطوري الذي طالت رحلة البحث عنه، والذي يعتقد بعض العلماء أنه يدور في مدار أبعد بكثير من كوكب بلوتو المتجمد، وكويكب سيدْنا الذي اكتُشف مؤخرًا، أو بسبب جرم بعيد معتم شبيه بالشمس.

هناك نظرية بديلة مثيرة للاهتمام تُعرف باسم «فرضية شيفا»، وقد سُميت باسم إله الفناء والبعث عند الهندوس، وقد روَّج لها بقوة مايك رامبينو من جامعة نيويورك وزملاؤه؛ إذ يعتقدون أن حالات الانقراض الكبرى المدونة في السجلات الجيولوجية للأرض جاءت نتيجةً لأحداث اصطدام كبيرة تقع بانتظام كل فترة تتراوح بين ٢٦ و٣٠ مليون سنة. ويربط رامبينو وزملاؤه هذا بمدار نظامنا الشمسي — بما في ذلك كوكب الأرض — حول مركز مجرتنا درب التبانة، وهو مدار يتحرك صعودًا وهبوطًا في حركة تشبه حركة الأمواج. كل ٣٠ مليون سنة أو نحو ذلك، يأخذ هذا المدار المتموج الشمس وكواكبها فيمر بها خلال سطح مجرتنا التي تشبه القرص، وذلك حين توفر جاذبية الكتلة الضخمة من النجوم الموجودة في قلب المجرة مزيدًا من قوة الجذب. ووفقًا للمدرسة التي يتبعها رامبينو، فإن هذا يكفي لإيقاع خلل في مدارات مذنبات سحابة أورت يكفي لإرسال دفق جديد من المذنبات إلى قلب النظام الشمسي؛ ما يزيد كثيرًا من وتيرة الاصطدامات الكبيرة للأجرام السماوية بكوكب الأرض. لم تمر إلا بضعة ملايين من السنين منذ أن مر نظامنا الشمسي الماضي عبر سطح المجرة؛ فهل يمكن أن تكون كوكبة من المذنبات في طريقها نحونا في هذه اللحظة؟ بحلول الوقت الذي نكتشف فيه ذلك، سيكون الوقت قد فات بالفعل.

تنادي فرضية شيفا بدورية حدوث تعمل على مقاييس زمنية جيولوجية؛ ولهذا السبب نادرًا ما يجري تناولها في المناقشات التي تدور حول الخطر المباشر القادم من حوادث الاصطدام بجرم كوني. ومن الأمور التي تتعلق كثيرًا باعتبارات سلامتنا وبقائنا — نحن وأسلافنا — قول العالِمَين الفلكيين البريطانيين فيكتور كلوب وبيل نابير إن مجموعات من الأجرام الكونية تضرب الأرض كل بضعة آلاف من السنين، وإن كوكبنا قد تعرَّض لقصف عنيف خلال العصر البرونزي؛ أي قبل ٤٠٠٠ سنة فقط من الآن. ولمعرفة ما قد يكون السبب في وقوع ذلك القصف الذي بلغ قرب عهده مبلغًا يثير القلق، نحتاج إلى العودة إلى سحابة أورت في أعمق أعماق الفضاء. وإذا نحينا جانبًا اختلال السحابة نظرًا لمرور النظام الشمسي حول المجرة، فالأمر الطبيعي هو أن نشهد هبوط مذنب جديد من السحابة بين الحين والآخر إلى النظام الشمسي الداخلي، وهو ما قد يتكرر كل ٢٠ ألف سنة. وسرعان ما «تستحوذ» حقول الجاذبية القوية للشمس أو المشتري على الوافد الجديد وتمزقه إربًا إربًا لتتشكل حلقة من الحطام تنتشر على طول المدار، لكنها تتركز تحديدًا حول موضع المذنب الأصلي نفسه. ويمكن لمذنب كبير تفكَّك

بهذه الطريقة أن «يبذر» النظام الشمسي الداخلي بما قد يصل إلى مليون كتلة صخرية قطر الواحدة منها كيلومتر واحد؛ ما يسبب زيادة هائلة في عدد الأجرام التي تهدد كوكب الأرض، ويزيد كثيرًا من فرص تعرُّض كوكبنا للاصطدام. ويرى كلوب ونابير، وغيرهما من أتباع مدرسة نظرية «ترابط الكوارث»، أن آخر دخول لمذنب عملاق من سحابة أورت إلى نظامنا الشمسي كان في نهاية العصر الجليدي الأخير — أي لا يفصل بيننا وبين ذلك الحدث سوى ١٠ آلاف سنة أو نحو ذلك — مما تسبب في تشكيل كتلة من الحطام تُعرف باسم التجمع الثوري (نسبة إلى كوكبة الثور). في شهر ديسمبر من كل عام تمر الأرض عبر جزء من هذا التجمع الحطامي؛ مما يؤدى أحيانًا إلى ظهور عرض ضوئي مذهل سببه عاصفة النيازك الثورية، وتكون في صورة شظايا صخرية صغيرة وصخور في حجم الحصى تحترق في الغلاف الجوي العلوي. ومع ذلك، فهذه الجسيمات والقطع غير المؤذية ليست سوى ذيل التجمع الثوري الذي يضم في قلبه مذنبًا قطره ٥ كيلومترات يعبر أرضنا ويُعرف باسم إنكي، ويرافقه ما لا يقل عن أربعين كويكبًا، لو اصطدم أحدها بكوكبنا لَسبَّبَ فوضى تشمل العالم بأسره.

يتشابه توزيع الحطام على طول مدار التجمع الثوري حول الشمس مع توزيع العدَّائين في سباق لمسافة ١٠ آلاف متر؛ ففي حين يتجمع أغلب العدائين معًا في زمرة واحدة، تنتشر بقيتهم هنا وهناك حول مضمار السباق. ويقول أصحاب نظرية «ترابط الكوارث» إنه في معظم السنوات يعبر مدارُ الأرض مدارَ التجمع الثوري عند نقطة يقل فيها الحطام؛ ما يؤدي إلى ظهور مشهد ما قبل عيد الميلاد. وكل فترة تتراوح بين ٢٥٠٠ و٣٠٠٠ عام أو نحو ذلك، تمر الأرض عبر ما يشبه زمرة المتسابقين، فتجد نفسها على الطرف المستقبِل لوابل من الكتل الصخرية قد يصل قطر الواحدة منها إلى ما يتراوح بين ٢٠٠ و٣٠٠ متر. ويرى بيني بيسر — وهو متخصص في علم الأنثروبولوجيا الاجتماعية في جامعة جون مورز ليفربول — أنه قبل نحو ٤٠٠٠ سنة أدَّى قصفٌ من هذا النوع إلى انهيار العديد من الحضارات القديمة خلال الألفية الثالثة قبل الميلاد. وفسر هو وغيره الكتابات المعاصرة لذلك في ضوء سلسلة من الاصطدامات كانت من الضآلة بحيث لا تكفي ليكون لها أثر يشمل الكوكب بأكمله، لكنها كانت كافية جدًّا لإيقاع الفوضى في العالم القديم، وذلك عن طريق توليد موجات صدمة مدمرة في الغلاف الجوي، وزلازل، وموجات تسونامي، وحرائق غابات. ويبدو أن العديد من المراكز الحضرية في أوروبا وأفريقيا وآسيا قد انهارت في وقتٍ واحد تقريبًا، وذلك نحو عام ٢٣٥٠ قبل الميلاد، بينما

كثرت الفيضانات والحرائق والزلازل والفوضى العامة. وبطبيعة الحال، فإن تلك الروايات الخيالية في بعض الأحيان مفتوحة أمام التفسيرات البديلة، ولا تزال الأدلة الدامغة على وقوع قصفٍ من الفضاء في ذلك الزمان بعيدة المنال. قدَّر العلماء أعمار سبع فوهات اصطدام في أستراليا وإستونيا والأرجنتين بين ٤٠٠٠ و٥٠٠٠ سنة، ولا يزال البحث عن فوهات أخرى مستمرًّا. والأمر الذي يصعب الدفاع عنه هو قول البعض إن انهيار الإمبراطورية الرومانية وبداية العصور المظلمة لعلهما قد نجما — بطريقة أو بأخرى — عن زيادة أعداد الاصطدامات حين مرت الأرض آخر مرة عبر الجزء الكثيف من التجمع الثوري بين عامَي ٤٠٠ و٦٠٠ للميلاد. والأدلة المادية على ذلك ضعيفة، وفترات تدهور المناخ التي تُعزى إلى الاصطدامات في ذلك الزمان يمكن أن تُفسرها انفجارات بركانية كبيرة. الواقع أنه في السنوات الأخيرة كانت هناك نزعة مثيرة للقلق في أوساط علماء الآثار وعلماء الأنثروبولوجيا والمؤرخين إلى محاولة تفسير كل حدث تاريخي في ضوء وقوع كارثة طبيعية من نوعٍ ما — سواءٌ أكانت اصطدامًا للأرض بكويكب، أم ثورة بركانية، أم زلزالًا — وكان العديد منها يقوم على أوهى الأدلة. ولما كان الهدف من هذا الكتاب هو تسليط الضوء على كيفية تأثير الكوارث الطبيعية علينا جميعًا، فسيكون من الحماقة القول إن الحضارات الماضية لم تعانِ عدة مراتٍ ويلاتِ الطبيعة. ومع ذلك، فمَنْ ينسب كل الأحداث — من الحرب الأهلية الإنجليزية والثورة الفرنسية، إلى سقوط روما وزحف جنكيز خان غربًا — إلى كوارث طبيعية، لا يفعل شيئًا سوى التقليل من قيمة التبعات الكارثية المحتملة للأخطار الطبيعية، وتهميش دور الطبيعة في تشكيل مسيرة الحضارة.

## أيَّ طريقة موت تفضِّل؟

لو صدَّقْنا مؤيدي نموذج التجمع الثوري — وينبغي أن أقول الآن إن آراءهم لا تزال تشكِّل أقلية بين مؤيدي فكرة الأخطار الناجمة عن الاصطدام بالأجرام السماوية — فربما لا يكون أمامنا إلا نحو ألف سنة أخرى فحسب قبل أن تأتيَ سلسلة من الومضات التي تبهر الأبصار، ومن الانفجارات المدوية لتعلن وصول الدفعة التالية من مذنَّب مجزَّأ. قد نُمحَى من الوجود غدًا أو يكون علينا الانتظار ١٠٠ ألف سنة أو أكثر قبل أن تُباد إحدى المدن، أو الانتظار مليون سنة قبل أن يغرق العالم في شتاء كوني تحت سحابة من الصخور المفتتة. لكن حين تسقط السماوات فوق رءوسنا في المرة القادمة، كيف سيؤثر ذلك علينا؟ يعتمد ذلك على ثلاثة أمور: حجم الجرم، وسرعته، وهل سيصطدم

باليابسة أم بالمحيط. إن تساوت جميع العوامل، يمكننا القول إنه كلما كبر حجم الجرم الذي سيصطدم بالأرض كان أشد تدميرًا، وكانت آثاره أوسع نطاقًا. أكرر أن جرمًا كونيًّا يتراوح قطره بين ٥٠ و١٠٠ متر من شأنه أن يحمل قوة تدميرية تكفي لإبادة مدينة كبرى أو دولة أوروبية صغيرة أو ولاية أمريكية. ومستوى الدمار المصاحب لذلك ومداه يزدادان باطِّراد مع ازدياد حجم الجرم الذي سيصطدم بالأرض إلى أن يصل الأمر إلى الحد الحرج حين يصير قطره كيلومترين. بالإضافة إلى التسبب في الدمار المروع على نطاق إقليمي أو شبه قارِّي، فإن وصول جرم كوني بهذا الحجم من شأنه أن يؤثر على كوكب الأرض بأسره عن طريق توليد فترة صقيع ونقص في نمو النبات. فإذا كان قطر الجرم الذي سيصطدم بالأرض يفوق كيلومترين، فإن تبعات اصطدامه على النظم الإيكولوجية للكوكب تشتد تدريجيًّا إلى أن يحدث الانقراض الشامل فيمحو نسبة كبيرة من جميع أنواع الكائنات الحية. والجرم الكوني الذي بلغ قطره ١٠ كيلومترات، والذي ضرب الأرض قبالة الساحل المكسيكي في نهاية العصر الطباشيري قبل ٦٥ مليون سنة، لم يؤدِّ فقط إلى انقراض الديناصورات، لكنه أنهى كذلك وجود ثلثَي جميع أنواع الكائنات الحية التي كانت موجودة في ذلك الوقت. ومما يثير الإزعاج أكثر هو أن هناك أدلة على أن اصطدامًا كبيرًا وقع في نهاية فترة العصر البرمي قبل نحو ٢٥٠ مليون سنة، لم يُبْقِ على قيد الحياة من أنواع الكائنات الحية سوى ما يقل عن ١٠ بالمائة. وفي الإجمالي، ربط العلماء ٧ على الأقل من أصل ٢٥ عملية انقراض كبرى في السجل الجيولوجي للأرض بأدلة على حدوث اصطدامات كبيرة، مع أن هناك — كما ذكرت في الفصل السابق — مدرسة فكرية تقلل من أهمية التبعات البيئية لأحداث الاصطدام، وتفضل أن تُرجِع حالات الانقراض الكبيرة تلك إلى التدفقات الهائلة للحمم البازلتية.

ترتبط القدرة التدميرية لكتلة صخرية تندفع داخل كوكب الأرض ارتباطًا مباشرًا بالطاقة الحركية التي تحملها، وهذا لا يعكس فقط حجم الجسم، بل وسرعة الاصطدام أيضًا. ولأن ما يُسَمَّى بمُذَنَّبات الفترة الطويلة — التي تحملها مداراتها بعيدًا إلى فضاء ما بين النجوم — تتحرك بسرعة فائقة، فإن الاصطدامات الخاصة بها تسبب قدرًا من الدمار أكبر من الذي تسببه الكويكبات القريبة من الأرض أو المذنبات المحلية التي تتحرك في مدارات مقتصرة على مركز النظام الشمسي. علاوةً على ذلك، فإن طبيعة الدمار الحادث وحجمه يعتمدان على ما إذا كان الجرم سيصطدم باليابسة أم الماء. الماء يغطي ثلثَي سطح كوكبنا؛ لذلك فمن الناحية الإحصائية ستكون أغلب ضربات الكويكبات

والمذنبات في المياه. في مثل هذه الحالات، يمكن تقليل كمية الصخور المفتتة التي تندفع إلى الغلاف الجوي، مقارنةً بما يحدث في حالة الاصطدام باليابسة. ومع ذلك، قد لا يظهر أثر هذه الفائدة الضئيلة أمام تكوُّن موجات تسونامي عملاقة قادرة على أن تعيث فسادًا في مختلِف أنحاء المحيط. وعلاوةً على ذلك، قد تؤثر كميات الماء والملح الهائلة والمندفعة إلى الغلاف الجوي كثيرًا على المناخ، بل وقد تقضي مؤقتًا على درع الأوزون الذي يحمينا. ومعظم الأدلة عن الآثار البيئية للاصطدامات تأتي من دراسات أُجريت على حدثَين اثنين فقط؛ أحدهما صغير والآخر مهول.

عام ١٩٠٨، اخترق كويكب صغير — يقدَّر قطره بنحو خمسين مترًا — الغلاف الجوي للأرض، وانفجر على ارتفاع أقل من ١٠ كيلومترات فوق سطح سيبيريا في منطقة معروفة باسم تونجوسكا. وسُمع صوت هذا الانفجار الضخم — الذي استنفد طاقة تعادل تقريبًا ٨٠٠ قنبلة ذرية من نوعية القنابل التي أُلقيتْ على هيروشيما — على مساحة تعادل أربعة أضعاف مساحة المملكة المتحدة، وأتى على مساحة تفوق ٢٠٠٠ كيلومتر مربع من الغابات المكتملة النمو فسوَّاها بالأرض. ومن فرط قوة الانفجار، التقطته أجهزة سيسموجراف (مقياس الزلازل) تبعد عنه آلاف الكيلومترات، والتُقطت موجة الصدمة الناجمة عنه مرارًا وتكرارًا بواسطة أجهزة الباروجراف (راسم الضغط الجوي) أثناء مرورها ثلاث مرات حول الكرة الأرضية قبل أن تتلاشى. وبسبب الغاز والغبار الناتجَين عن ذلك الانفجار، أضاءت سماء الليل في أوروبا على نحوٍ لا مثيل له، حتى إن أحد التقارير المعاصرة ذكر أن هذا الضوء كان يكفي لممارسة لعبة الكريكيت في لندن بعد منتصف الليل. وبسبب تعذُّر الوصول إلى تونجوسكا، فإن أول بعثة روسية إلى هناك لم تصل إلا بعد مرور رُبع قرن على وقوع الانفجار، وحينها أصابت الحيرة ليونيد كوليك وفريقه؛ إذ لم يعثروا على الحفرة الكبيرة التي كانوا يتوقعون أن يجدوها؛ فبدلًا منها وجدوا رقعة دائرية من أشجار بلغت درجة عالية من التفحم على مساحة ٦٠ كيلومترًا، شكَّلها الانفجار الهوائي حين تفككت الصخور تفككًا انفجاريًّا بسبب الضغوط الهائلة الناجمة عن دخول الجرم الغلاف الجوي. ونظرًا لندرة السكان في تلك المنطقة؛ كانت الخسائر في الأرواح ضئيلة، فلقي عدد قليل مصرعه، بينما أصيب نحو عشرين شخصًا، وإن كانت التقارير مقتضبة لأسباب يمكن تفهُّمها. ولكن لو تأخر ذلك الاصطدام أربع ساعات لكانت الأرض قد دارت بما يكفي لجعل مدينة سان بطرسبرج الكبرى في نطاق الاصطدام بالكويكب، ولكانت النتيجة مفجعة.

يتضاءل حجم حادثة تونجوسكا مقارنةً بما حدث قبالة ساحل شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك قبل ذلك الوقت بخمسة وستين مليون سنة؛ حيث اصطدم كويكب أو مذنَّب — فطبيعة الجرم السماوي غير مؤكدة — قطره ١٠ كيلومترات بالمياه فغيَّرَ وجه العالم إلى الأبد. في غضون أجزاء من الثانية، أطلق انفجارٌ لا يمكن تصوُّره قدرًا من الطاقة يعادل ما تطلقه مليارات من قنابل هيروشيما إذا انفجرت في آنٍ واحد، ونشأت عنه كرة نارية عملاقة أكثر سخونة من الشمس بخَّرت المحيط وتركت في قشرة الأرض فوهة قطرها ١٨٠ كيلومترًا. انطلقت موجات الصدمة صعودًا لتمزق الغلاف الجوي وتطلق أكثر من مائة تريليون طن من الصخور المنصهرة في الفضاء، التي سقطت بعدها على الأرض. وفي لمح البصر سُويَّت مساحة تفوق مساحة أوروبا بالأرض، وأُبيدَ كل ما عليها من أشكال الحياة، في حين هزت الزلازل الضخمة أرجاء الكوكب. وقد أطلق الغلاف الجوي أصوات انفجارات مدوية تزامنًا مع قيام أعاصير عملاقة — تفوق في قوتها أعتى الأعاصير بمقدار خمس مرات — بتمزيق الأرض، مصحوبة بأمواج تسونامي عاتية ضربت سواحل على بُعد عدة آلاف من الكيلومترات.

لم يكن الأسوأ قد حدث بعد. عندما بدأت الصخور التي قُذِف بها في الفضاء بقوة خارقة تعود لتنهمر على جميع أنحاء الكوكب، تسببت الحرارة المتولدة عن عودة تلك الصخور إلى الغلاف الجوي في توهج السطح وشيِّ الحيوانات حيةً وكأنها وُضعت في أحد الأفران، واندلعت حرائق كبيرة دمرت غاباتِ العالم ومراعيَه، وحوَّلت ربع الموارد المعيشية إلى رماد. حتى عندما استقر الغلاف الجوي والمحيطات، وتوقفت قشرة الأرض عن الاهتزاز، وتوقف قصف الحطام من الفضاء، لم تكن النهاية قد حانت بعد؛ ففي الأسابيع التالية، حجب الدخان والغبار الموجودان في الغلاف الجوي الشمسَ لتنخفض درجات الحرارة بنسبة تصل إلى ١٥ درجة مئوية. وفي ظل الظلام المتزايد والبرد القارس ذوت الحياة النباتية، بينما تضورت الديناصورات الباقية التي تقتات بالعشب جوعًا. ولم تكن الحياة في المحيطات أفضل حالًا؛ إذ امتلأت المحيطات بالسموم الناجمة عن حرائق الغابات العالمية والمطر الحمضي الناتج عن الكميات الهائلة من الكبريت التي تُضخ في الغلاف الجوي من الصخور في موقع الاصطدام، فانمحى ثلاثة أرباع الحياة البحرية. وبعد سنوات من الصقيع، انقشعت في نهاية المطاف العتمة التي تلت اصطدام تشيككسولوب — كما أُطلق عليه — لتكشف عن شمس حارقة من بين فتحات في طبقة الأوزون الممزقة بسبب التفاعل الكيميائي لأكاسيد النيتروز المتكونة داخل الكرة النارية



شكل ٥-٣: أشجار سُوِّيَتْ بالأرض بفعل الانفجار الذي حدث في الغلاف الجوي بسبب كويكب صغير فوق تونجوسكا (سيبيريا) عام ١٩٠٨.[2]

التي نتجت عن الاصطدام؛ وهكذا حلَّ «ربيع فوق بنفسجي» — في أعقاب شتاء كوني — فأحرق الكثير مما تبقى من الكائنات الحية التي كانت تصارع من أجل البقاء على قيد الحياة. كان اختلال التوازن الطبيعي للأرض هائلًا؛ إذ يقول البعض إن الأرض بعد اصطدام تشيككسولوب ربما تكون قد استغرقت مئات الآلاف من السنين للعودة إلى وضعها الطبيعي. وعندما حدث ذلك، كان عصر الزواحف الكبرى قد انتهى، تاركًا المجال أمام الثدييات البدائية — أسلافنا الأوائل — وفاتحًا ممرًّا تطوريًّا بلغ ذروته بظهور الجنس البشري. ولكن هل يمكن أن نستمر بالطريقة بنفسها؟ لتقييم الاحتمالات في هذا الشأن دعونا نُلقِ نظرة فاحصة على القوة التدميرية لأحد أحداث الاصطدام.

في تونجوسكا، كانت الحرارة الهائلة المتولدة عن الانفجار أحد أسباب تدمير الغابات، لكن السبب الرئيسي كان موجة الانفجار التي أوقعت الأشجار وسوَّتها بالأرض. وتتوقف قوة هذه الموجة الانفجارية على ما يُسَمَّى «الضغط الزائد الذُّروي»، وهو الفرق بين الضغط البيئي وضغط موجة الانفجار. ولكي يُحدِث هذا الضغط دمارًا هائلًا، لا بد أن يتجاوز أربعة أرطال لكل بوصة مربعة، وهو ضغط زائد يجعل سرعة الرياح

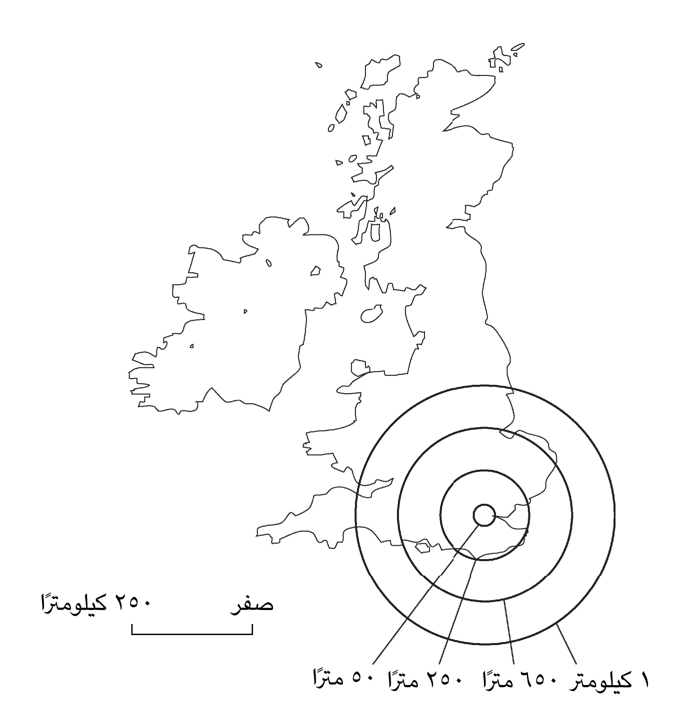
تفوق ضِعف قوة الرياح التي عادةً ما تصحب الأعاصير. قد تُسبب الضغوط الزائدة الهائلة التي تتولد عن انفجار جرم كوني قطره ٥٠ مترًا على ارتفاعٍ منخفضٍ ضررًا يشبه انفجار قنبلة نووية كبيرة جدًّا، وينسف كل شيء تقريبًا يقع في نطاق الطريق الدائري المحيط بإحدى المدن، حتى ولو كانت هذه الضغوط ضئيلة مقارنةً بمساحة مثل مساحة لندن. ولو زاد حجم الجرم الذي سيصطدم بالأرض لصارت الأمور أسوأ بكثير جدًّا؛ فكويكب قطره ٢٥٠ مترًا فحسب قادر على اختراق الغلاف الجوي وتكوين حفرة قطرها ٥ كيلومترات، وتدمير مساحة تقارب ١٠ آلاف كيلومتر مربع؛ أي ما يعادل مساحة مقاطعة كينت الإنجليزية. وإن زاد قطر الكويكب إلى ٦٥٠ مترًا، تزداد المساحة المعرضة للدمار إلى ١٠٠ ألف كيلومتر مربع؛ أي ما يقارب مساحة ولاية ساوث كارولاينا الأمريكية.

بالرغم مما يثيره كل هذا من فزع، فإنه لن يكون كافيًا ليؤثر على الكوكب بأسره. فلِكي يكون للجرم الذي سيصطدم بالأرض ذلك الأثر العالمي، لا بد أن يكون قطره ١٫٥ كيلومتر على الأقل إذا كان من المذنبات الأكثر سرعة، أو يكون قطره كيلومترين إذا كان من الكويكبات الأقل سرعة. قد يولِّد الاصطدام بأحد هذه الأجرام انفجارًا يعادل انفجار ١٠٠ ألف مليون طن من مادة تي إن تي الشديدة الانفجار، وهو ما قد يمحو من الوجود مسافة ٥٠٠ كيلومتر — أي ما يساوي مساحة إنجلترا مثلًا — وأن يقتل على الفور ربما عشرات الملايين من البشر حسب موقع الاصطدام.

سرعان ما ستواجه بقية العالم المشكلات الحقيقية، وذلك حين يبدأ الغبار الموجود في الغلاف الجوي في إظلام السماء وخفض مستوى ضوء الشمس الذي يصل إلى سطح الأرض. وبالمقارنة مع اصطدام تشيككسولوب الضخم، من المؤكد أن هذا سيؤدي إلى انخفاضٍ كبير في درجات الحرارة العالمية، لكن لم يُجمع العلماء على مدى السوء الذي سيكون عليه هذا الأمر. ومع ذلك فهناك احتمالات أن اصطدامًا بهذا الحجم من شأنه أن يؤديَ إلى ظروف جوية مروعة وتلفٍ للمحاصيل لا يقل حدة عما جرى في العام الذي أطلق عليه العلماء «عام بلا صيف»، والذي أعقب ثورة بركان تامبورا عام ١٨١٥ في إندونيسيا. وكما ذكرنا في الفصل السابق، فمع احتفاظ البلدان المتقدمة نفسها بطعام يكفي سكانها لمدة شهر فقط أو نحو ذلك، لا شك أن تلف المحاصيل على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم سيكون له تداعيات خطيرة. من المرجح أن تكون النتيجة هي الترشيد على أقل تقدير، بينما تكون أسوأ السيناريوهات المتوقعة حدوث خلل واسع النطاق في

النسيج الاجتماعي والاقتصادي للدول المتقدمة. أما في دول العالم النامي حيث تسود زراعة الكفاف، فسرعان ما سيسفر تلف المحاصيل على نطاقٍ واسعٍ عن مجاعة عارمة. ويتوقع بعض الباحثين أن ما يصل إلى رُبع سكان العالم سيقعون فريسة لمناخ متدهور في أعقاب اصطدام جرم كوني قطره كيلومتران بكوكب الأرض. وإذا زاد حجم الجرم عن هذ الحجم، فسيتوقف التمثيل الضوئي تمامًا. ما إن يحدث ذلك، لن تكون المشكلة في عدد من سيلقَوْن حتفهم من البشر، بل في بقاء الجنس البشري على قيد الحياة من الأساس. وفقًا لأحد التقديرات، فإن اصطدام الأرض بجرم كوني قطره ٤ كيلومترات فقط من شأنه أن يضخ إلى الغلاف الجوي كميات من الغبار والحطام تكفي لتقليل مستويات الضوء أدنى من المستوى المطلوب لإتمام عملية التمثيل الضوئي.

ولأننا ما زلنا نجهل عدد الأجرام التي تهدد الأرض، ونجهل ما إذا كانت ستأتي على فترات قصيرة أم لا، يكاد يكون من المستحيل القول متى سيضرب الأرض كويكب أو مذنَّب يسفر عن نهاية العالم الذي نعرفه. إن أحداث الاصطدام التي تكون بحجم اصطدام تشيككسولوب الذي أفنى الديناصورات لا تقع إلا كل عشرات الملايين من السنين؛ ولذلك نجد أنه في أي سنة من السنين ستكون فرص حدوث ذلك ضئيلة. ومع ذلك فإن أي تفاؤل تضعفه حقيقة أن السرب القادم من مذنبات سحابة أورت ربما يسرع الآن نحو النظام الشمسي الداخلي؛ ذلك إذا افترضنا صحة فرضية شيفا. وإذا لم يحدث ذلك، فقد يكون أمامنا ألف سنة أخرى فحسب قبل عودة الجزء الكثيف من «التجمع الثوري» وحدوث اصطدام كويكبي آخر. حتى لو اتضح أنه ليس هناك تلازم في توقيت أحداث الاصطدام، فمن الناحية الإحصائية ليس هناك سبب يمنع اصطدام كوكبنا بكويكب قريب منه لم يُكتشف بعدُ أو بمذنَّب طويل الأمد لم يسبق له دخول النظام الشمسي الداخلي. أما الأجرام التي تصطدم بالأرض وتكون بحجم جرم تونجوسكا فإنها تشكل خطرًا أقل؛ لأن اصطداماتها المدمرة صغيرة مقارنةً بمساحة سطح الأرض. وسيكون من سوء الحظ لو ضرب أحد هذه الأجرام منطقة حضرية؛ إذ سيسقط معظمها في البحار. قد يبدو هذا أمرًا جيدًا، لكن اصطدام جرم كوني أكبر حجمًا بالمحيط سيكون كارثيًّا؛ فإذا سقطت صخرة قطرها ٥٠٠ متر في حوض المحيط الهادي على سبيل المثال، فستولد موجات تسونامي عملاقة من شأنها أن تسفر عن أضرار جسيمة في كل مدينة ساحلية تقع في نصف الكرة الأرضية في غضون عشرين ساعة أو نحو ذلك. واحتمالات حدوث ذلك مرتفعة جدًّا — نحو ١ بالمائة خلال السنوات المائة المقبلة — وقد يبلغ عدد القتلى حينها عشرات الملايين وربما أكثر.




شكل ٥-٤: المناطق التي يُتوقع تعرُّضها للدمار الكامل نتيجة الاصطدام بأجرام مختلفة الحجم مركزها مدينة لندن.

تشير أحدث التقديرات إلى أن اصطدام الأرض بجرم قطره ١ كيلومتر يتكرر كل ٦٠٠ ألف سنة، لكن أحدث فوهة اصطدام سبَّبها جرم كوني بهذا الحجم يبلغ عمرها ما يقرب من مليون سنة. وبالطبع، ربما حدث العديد من الاصطدامات الكبيرة منذ ذلك الحين، لكنها إما حدثت في البحر وإما لم يعثر العلماء حتى الآن على موضعها على اليابسة. لعلك الآن تقول إنه من الواضح أن هناك خطرًا، لكن هل يلوح أي شيء في الأفق؟ الواقع أن الجواب هو «نعم». هناك نحو اثني عشر كويكبًا — صغيرة جدًّا في الغالب — من المرجح أن تصطدم بكوكب الأرض قبل عام ٢١٠٠. لكن من الناحية الواقعية، هذا ليس مرجحًا؛ إذ إن الاحتمالات القائمة لا تتخطى كثيرًا نسبة ١ في العشرة آلاف، لكن ضع في الاعتبار أن هذا احتمال ليس بالقليل. أكثر ما يثير القلق هو كويكب إم

إن ٤ القريب من الأرض، والذي يبلغ قطره ٣٢٠ مترًا، والمكتشَف في أواخر عام ٢٠٠٤، وسُمي مؤخرًا باسم «أبوفيس»، وهو الاسم اليوناني للإله المصري أبيب بمعنى المدمِّر. في مرحلةٍ ما كان يُعتقد أن احتمال ضرب أبوفيس للأرض في الثالث عشر من أبريل من عام ٢٠٢٩ يساوي ١ في ٣٧. والآن صار ذلك الاحتمال ١ في ٨٠٠٠، وهو ما يبعث على الشعور بالارتياح. ومرة أخرى، قد تبدو هذه احتمالات بعيدة، لكنها في الواقع تفوق بواقع ٨٠ مرة فحسب توقعات صيف ٢٠٠١ بفوز إنجلترا على ألمانيا ٥-١ في لعبة كرة القدم. قبل بضع سنوات، وضع العلماء مؤشرًا يُعرف باسم مقياس تورينو يُستخدم لقياس خطر الاصطدامات، وحتى الآن فإن أبوفيس هو أول جرم كوني يسجل على هذا المقياس قيمة أكبر من الصفر ويحافظ عليها. وفي الوقت الحاضر يسجل أبوفيس درجة واحدة فقط على هذا المقياس؛ ومن ثَمَّ يُعرف بأنه «حدث يستحق الرصد الدقيق». وهذا الجرم الكوني محور اهتمام كبير مع استمرار الجهود لتقييد مداره بصورة أفضل، ومن الممكن تمامًا — عندما نكتشف المزيد عنه — أن يرتفع تقييمه عن واحد على مقياس تورينو، فيصبح «حدثًا يستحق القلق إزاءه». ومع ذلك فإنه من المستبعد كثيرًا أن يرتفع تقييمه عن ذلك، ودعونا نأمل أن تنقضيَ سنوات عديدة قبل أن نرى جرمًا من الفئة الأولى يسجل عشر درجات على ذلك المقياس، وهو ما يعني «حادث تصادم مؤكد ذي تبعات عالمية». إن توافرت لنا علامات إنذار كافية، فقد يتسنَّى لنا دفع أحد الكويكبات بعيدًا للخروج من طريقه إلى الأرض، لكن الأمر يختلف مع المذنبات الجديدة التي تتجه نحونا؛ نظرًا لحجمها وسرعتها الكبيرة وظهورها المفاجئ.

## حقائق مثيرة للقلق

- يقترب نحو ١٠٠٠ كويكب — أو أكثر — قطره ١ كيلومتر أو أكثر بانتظام من مدار الأرض أو يعبره، وسينهي نحو ثلث تلك الكويكبات حياته بالاصطدام بكوكبنا.
- قد يودي اصطدام جرم كوني قطره كيلومتران بالأرض بحياة رُبع سكان العالم.
- قد لا نحصل إلا على فترة تحذيرية مدتها ستة أشهر قبل اصطدام أحد المذنبات بالأرض في المستقبل.
- يضرب كويكب كبير بما يكفي لتدمير لندن، أو نيويورك، أو باريس الأرضَ كل عدة قرون.

- ربما تكون الاصطدامات التي وقعت قديمًا قد قضت على ما يصل إلى ٩٠ بالمائة من جميع أشكال الحياة على الأرض.
- هناك احتمال واحد بالمائة أن يضرب جرم كوني قطره ٥٠٠ متر المحيط الهادي في السنوات المائة المقبلة.
- يرى البعض أننا قد ننتظر نحو ألف سنة أخرى قبل أن يتلقى كوكبنا ضربة أخرى من الفضاء.

## هوامش

(1) © MSSSO, ANU/Science Photo Library.

(2) © Novosti Press Agency/Science Photo Library.

# الخاتمة

عشرة آلاف عام مرَّت
ومليار دمعة ذرفها الإنسان
غير أنه بالأسباب قد جَهِل
والآن تنتهي سيادة الإنسان للعالم.

من أغنية «في عام ٢٥٢٥»
(ثنائي الروك الأمريكي زيجر وإيفانز)

إن الانفراد بالنفس للتأمل في عواقب الاحترار العالمي، أو اقتراب العصر الجليدي القادم، أو توقيت الانفجار البركاني الهائل القادم، أو الاصطدام بأحد الكويكبات؛ قد يولِّد لدينا قلقًا عابرًا. إلا أن التفكر الجماعي في الأخطار المستقبلية التي تهدد كوكبنا وجنسنا البشري كفيل تمامًا بأن يصيبنا بنوبات اكتئاب حاد. دعني ألخص موقفنا الحالي؛ نحن الآن في خضم دورة من الاحترار ستؤدي بالتأكيد خلال المائة سنة القادمة إلى تغييرات جيوفيزيائية واجتماعية واقتصادية هائلة من شأنها أن تكون وبالًا على الجميع. وفي الوقت نفسه يتأرجح كوكبنا على حافة العصر الجليدي القادم، الذي قد يحل قبل أوانه بسبب الاحترار العالمي، ولكن من المرجح أن يبدأ في غضون العشرة آلاف سنة المقبلة حتى وإن لم نساهم نحن في ذلك. وهناك كويكبات تبلغ من الحجم ما يكفي للقضاء على رُبع الجنس البشري لا تزال تندفع بسرعة عبر مدار الأرض دون أن نرصدها، بينما لا يدري أحد متى سنكتشف المُذَنَّب الكبير التاليَ المتجه نحونا. أعطتنا كارثة تسونامي المحيط الهندي لمحة عن مدى التأثير المفزع للطبيعة على عالمنا الذي لا يزداد إلا ازدحامًا،

حتى إن موجة تسونامي العملاقة القادمة أو الانفجار البركاني الهائل المقبل سيؤدي كلٌّ منهما حتمًا إلى وفاة الملايين وإحداث اضطراب هائل في مجتمعنا العالمي المتقدم المزعوم. وقد بلغت بنيتنا الاقتصادية والاجتماعية مبلغًا من الترابط والتشابك نتيجته أن زلزالًا واحدًا يضرب اليابان كفيل بأن يؤديَ إلى كارثة اقتصادية عالمية. وهناك توجهات أخرى أيضًا من شأنها أن تُنهيَ العالم الذي نعرفه، وذلك خلال القرن الحالي. ومع أن عدد سكان كوكب الأرض لا يزال في ازدياد، فقد بدأ معدل تلك الزيادة يتباطأ عام ١٩٦٨، وسوف يصل العدد أقصاه مقاربًا ٩ مليارات نسمة — أي ما يعادل مرة ونصف مرة ما عليه الحال اليوم — وذلك نحو سنة ٢٠٧٠. وبعد ذلك سوف يبدأ العدد في الانخفاض، فيصل إلى ٨٫٤ مليارات نسمة بعد ذلك في غضون ٣٠ عامًا فقط. وبالرغم مما يلقاه هذا المنحى من ترحيب، فستكون نتيجته قطاعًا من السكان المسنِّين ومستقبلًا يسوده الشَّيْب. بحلول نهاية هذا القرن، سوف تكون هناك نسبة استثنائية تقدَّر بنحو ٥٠ بالمائة تقريبًا من سكان اليابان وأوروبا الغربية عند سن الستين أو فوقها، وسوف يكون ثُلث سكان الكوكب بالكامل قد تجاوزوا هذه السن. وفي عالم تزداد فيه هيمنة المسنين على الشباب، يعتقد البعض أن الصراعات بين الأجيال سوف تطغى على المشهد السياسي.

لن يكون مستقبل أحفادنا حافلًا بكبار السن فحسب، بل سيكون مملًّا قاحلًا. في واحدة من كبرى حالات الانقراض الجماعي في التاريخ، تتسبب أنشطتنا الحالية على وجه كوكب الأرض في إبادة ما بين ٣٠٠٠ و٣٠ ألفًا من أنواع الكائنات الحية سنويًّا، من مجموعٍ لا يتعدى ١٠ ملايين نوع. قد يكون ثُلث النباتات المزهرة معرَّضًا للخطر، في حين أن ما بين ٢٥ و٥٠ بالمائة من جميع أنواع الحيوانات قد يختفي قبل مطلع القرن الجديد. ومع تزايد هلاك أنواع الكائنات الحية، سرعان ما ستتخذ الحشرات والأعشاب الضارة والأمراض أماكنها لتعيش جنبًا إلى جنب مع الجنس البشري. فبدلًا من عالم تعيش فيه الغوريلا، والباندا، وطيور الجنة، والشعاب المرجانية، سيُضطر أحفادنا إلى أن يعيشوا في عالم ليس به إلا الفئران، والصراصير، والحسك، والقراص. وعلاوةً على ذلك، فالتنوع البيولوجي هش للغاية — خاضع باطِّراد لتأثير التطور — لدرجة أن استعادته لحالته الأولى قد تستغرق ٥ ملايين سنة أو أكثر. وفي غضون ذلك، سنكون قد ورطنا ما يقدَّر بنحو ٥٠٠ تريليون نسمة من الأجيال القادمة في حياة كئيبة وكوكب خالٍ من الحياة بوجهٍ عام، وذلك من منظور التنوع. وعلى القدر نفسه من الأهمية، فإننا بالفعل صرنا وكأننا أرباب لهذا الكون نتدخل في التطور نفسه وفي كل الاحتمالات المستقبلية

للحياة على كوكب الأرض. فعن طريق إبادتنا لهذا الكمِّ الهائل من الأنواع التي توجد اليوم، ندمر الكثير من المادة الخام التي تلزم عملية التطور، ونقلل كثيرًا من قدرة هذا الكوكب على توليد الأنواع التي من المفترض أن تحيا في المستقبل. فيما يتعلق بملايين الأنواع على مر العصور الجيولوجية، حانت بالفعل نهاية العالم، والأنشطة التي يمارسها الإنسان اليوم تؤكد أن العديد من أشكال الحياة التي نشاركها الحياة على كوكبنا اليوم ستلقى المصير نفسه قريبًا.

يبدو إذنْ أن الصورة التي أرسمها الآن للمستقبل لا تزداد إلا سوءًا. سيكون كوكب يسكنه كبار سنٍّ ربما يفتقرون إلى الدينامية والابتكار اللذين كانا في الماضي، ويخوضون معركة مع تغير المناخ وعواقبه وما تلاه من اضطرابات اقتصادية وسياسية واجتماعية، ويناضلون — ربما بعد فوات الأوان — لتصحيح الأخطاء البيئية التي ارتكبناها — نحن أسلافهم. بطريقة أو بأخرى، وفي ضوء ما أسلفنا لا يبدو أن سيناريو اقتراب نهاية العالم الذي رسمه براندون كارتر محض خيال. وهناك آخرون قد وصلوا إلى استنتاج مفاده أنه قريبًا سيصل الأمر إلى ذروةٍ مأساوية؛ فقد تنبأ أندرس يوهانسن وديدييه سورنيت من جامعة كاليفورنيا مؤخرًا — في ضوء اتجاهات مؤشرات السكان والمؤشرات الاقتصادية والمالية — أن نوعًا من التحوُّل المفاجئ إلى «نظام» جديد سوف يقع خلال خمسين عامًا أو نحو ذلك، وأن طبيعة ذلك النظام تظل غير مؤكدة أو واضحة، ولكن من غير المحتمل أن تَسُرَّنا.

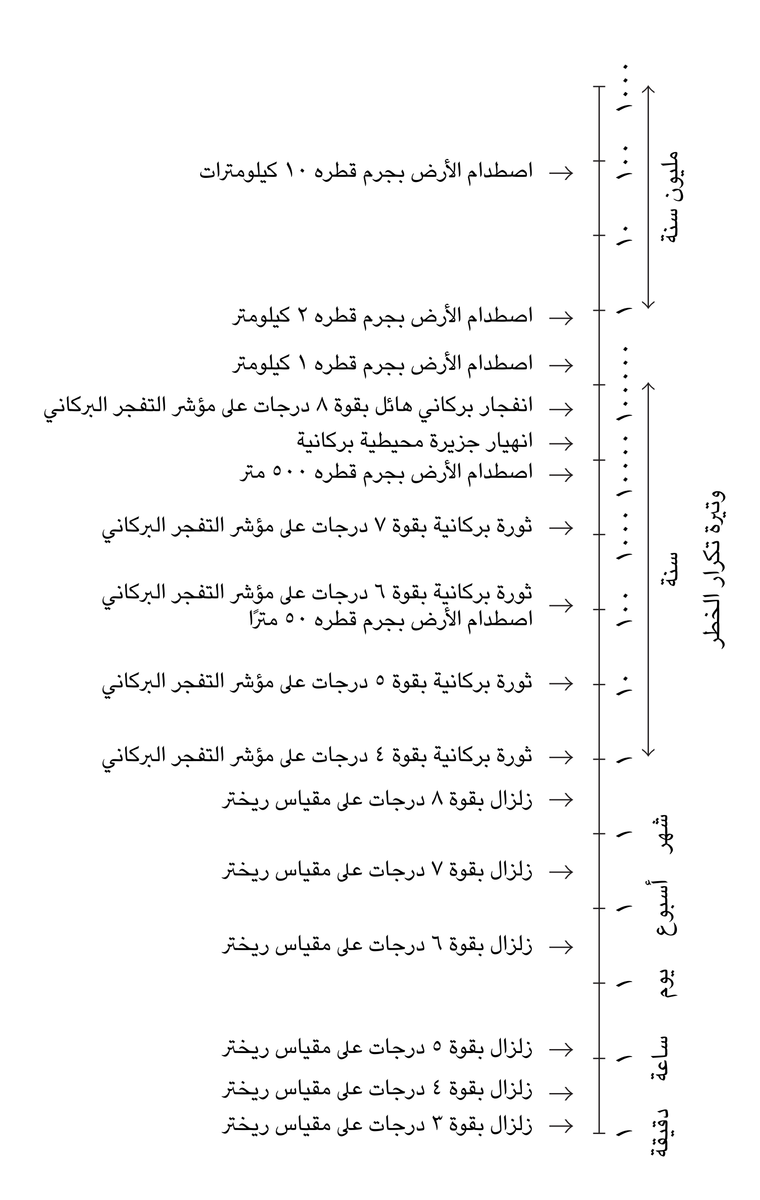
ربما يكون الخبر السارُّ الوحيد الذي قد يُستقى من هذه النظرة المختصرة على نهاية العالم الذي نعرفه هو أنه مع أن هذا سيحدث — وقريبًا — يبدو أنه قد تأكدت لنا نجاة جنسنا البشري، في الوقت الراهن على الأقل. وإذا نحينا جانبًا إمكانية اصطدام كبير لمُذَنَّب أو كويكب كالذي تسبب في اندثار الديناصورات قبل ٦٥ مليون سنة — والذي لا يحدث إلا كل ١٠٠ مليون سنة أو نحو ذلك — فمن المستبعد جدًّا في المستقبل القريب أن يأتيَ شيء آخر ليمحوَ من الوجود الجنس البشري عن بكرة أبيه وقد تجاوز عدد البشر ٦٫٥ مليارات نسمة. بل إن فكرة استبدال عالم قائظ الحرارة أو قارس البرودة بالعالم المألوف لنا كثيرًا الآن قد لا تبدو مخيفة في أعين من سيكون من ذريتنا في قلب ذلك العالم الجديد. ومهما يكن فالجنس البشري يتمتع بقدرة هائلة على التكيف مع الظروف المحيطة، ويمكننا التأقلم مع الأوضاع الجديدة بشيء من الثبات. وما من شك في أن «عوالم» مألوفة قد انتهت عدة مرات من قبل، وسوف يشهد بذلك شخص تجاوز عمره

المائة عام وُلد ونشأ عندما كانت الملكة فيكتوريا تتربع على عرش المملكة المتحدة، وعاش حتى شهد هبوط الإنسان على سطح القمر. ومع ذلك فالخطر يكمن في أن يصير العالم الذي سيعيش فيه أبناؤنا ومَن بعدهم عالمًا مليئًا بالنضال والصراع مع احتمال ضئيل — وربما القليل من الحماس — لتحقيق تقدم كما كانت الحال في العصر الفيكتوري. الواقع أنه لن يكون مستغربًا تمامًا إذا لم يكن هناك — في وقتٍ ما في المستقبل، حين تغرق المدن الساحلية الكبرى تحت الأمواج أو تحت صفائح الجليد — إجماع آراء بشأن حدوث قدرٍ كبير من التقدم.

مع أني حاولت في هذه الصفحات استقراء الاتجاهات والأفكار الحالية لاستخلاص ودراسة سيناريوهات تبعث على الكآبة لمستقبل كوكبنا وجنسنا البشري، فلا شك لديَّ — إلى حدٍّ ما على الأقل — أنك معذور الآن إن اتهمتني بضيق الخيال. وعلى كل حال، فإنني نادرًا ما تجاوزت في نظرتي إلى المستقبل بضع عشرات آلاف من السنين، غير أن شمسنا ستواصل غمر كوكبنا بالدفء الذي يهب الحياة مدة ٥ مليارات سنة أخرى أو أكثر. ومن يدري كيف ستكون حال الإنسان العاقل والأنواع التي تتطور منه على مدار تلك المدة الطويلة. قد يتلقى جنسنا البشري والأجيال التي تأتي بعده في المستقبل ضربة قاصمة على المدى القصير، لكن لو تعلمنا رعاية بيئتنا بدلًا من استغلالها، سواء هنا على الأرض — قبل أن تبتلعها الشمس في نهاية المطاف — أو ربما لاحقًا في النظام الشمسي والمجرة وما بعدها، حينها سيكون لدينا الإمكانية لنصبح أي شيءٍ والوقت لنفعل أي شيء تقريبًا. ولعل الوقت المناسب للبدء قد حان الآن.

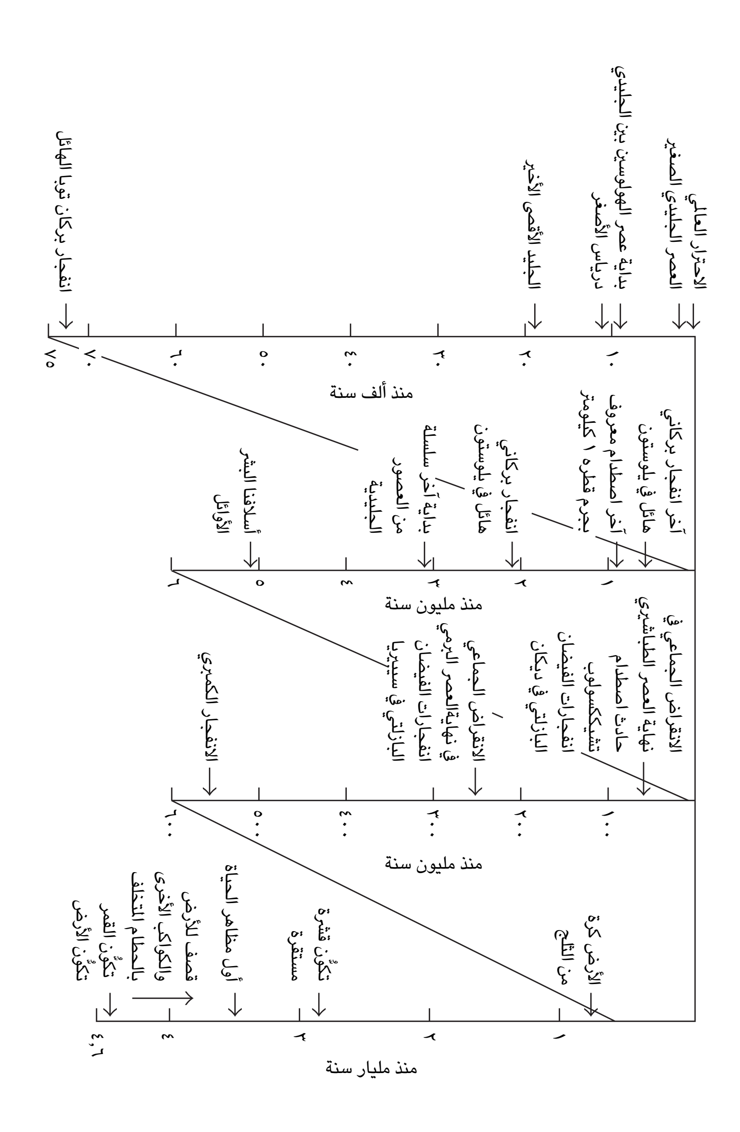
## الملحق (أ)

## الجدول الزمني للأخطار: يبين وتيرة تكرار الظواهر الخطرة



## الملحق (ب)

## الجدول الزمني الجيولوجي للأرض: يبين أهم الأحداث الواردة في هذا الكتاب



# قراءات إضافية

## الفصل الأول: مقدمة قصيرة جدًّا عن الأرض


Alexander, David. *Natural Disasters.* UCL Press. 1998.

Bell, Fred. *Geological Hazards: Their Assessment, Avoidance and Mitigation.* Taylor & Francis. 1999.

Bryant, Ted. *Natural Hazards.* Cambridge University Press. 2004.

Christiansen, Eric. *Earth's Dynamic Systems.* Prentice Hall. 2003.

Frampton, Steve., Chaffey, John., Hardwick, John, and McNaught, Alistair. *Natural Hazards.* Hodder & Stoughton. 2000.

George, Linda. *Plate Tectonics.* Thomas Gale. 2002.

Keller, Edward. *Introduction to Environmental Geology.* Prentice Hall. 2004.

Kovach, Robert, and McGuire, Bill. *Guide to Global Hazards.* Philip's. 2003.

Kusky, Timothy. *Geological Hazards: A Sourcebook.* Greenwood. 2003.

Marshak, Stephen. *Essentials of Geology: Portrait of Earth.* Norton Press. 2003.

McGuire, Bill. *Apocalypse: A Natural History of Global Disasters.* Cassell. 1999.

______, *Raging Planet: Earthquakes, Volcanoes and the Tectonic Threat to Life on Earth.* Apple. 2002.

______, Burton, Paul., Kilburn, Chris, and Willetts, Olly. *World Atlas of Natural Hazards.* Arnold. 2004.

Murnane, Richard, and Liu, Kam-Biu. *Hurricanes: Past, Present and Future.* Colombia University Press. 2004.

Newson, L. *The Atlas of the World's Worst Natural Disasters.* Dorling Kindersley. 1998.

Redfern, Martin. *The Earth: A Very Short Introduction.* Oxford University Press. 2002.

Smith, Keith. *Environmental Hazards.* Taylor & Francis 2004.

Tarbuck, Edward., Lutgens, Frederick, and Tassa, Dennis. *Earth Science.* Prentice Hall. 2005.

Thompson, Janice. *Hurricane.* River Oak. 2004.

Wisner, Ben., Davies, Ian., Cannon, Terry, and Blaikie, Piers. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters.* Taylor & Francis. 2003.

Woo, Gordon. *The Mathematics of Geological Catastrophes.* Imperial College Press. 2000.

Zebrowski, E. Jr. *Perils of a Restless Planet: Scientific Perspectives on Natural Disasters.* Cambridge University Press. 1997.

## الفصل الثاني: الاحترار العالمي

Alley, Richard. *The Two-mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change and our Future.* Princeton University Press. 2002.

Burroughs, William. J. *Climate Change.* Cambridge University Press. 2001.

Fagan, Brian. *Floods, Famines and Emperors: El Nino and the Fate of Civilisations.* Basic Books. 2000.

______, *The Long Summer: How Climate Changed Civilisation.* Basic Books. 2005.

Hillman, Meyer. *How We Can Save the Planet.* Penguin. 2004.

Houghton, John. *Global Warming: The Complete Briefing.* Cambridge University Press. 2004.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working Group II. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.* Cambridge University Press. 2001.

Lamb, H. H. *Climate, History, and the Modern World.* Routledge. 1997.

Leggett, Jeremy. *The Carbon War: Global Warming and the End of the Oil Era.* Penguin. 2000.

Lovelock, James. *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine.* Gaia. 1991.

Lynas, Mark. *High Tide: The Truth About our Climate Crisis.* Flamingo. 2004.

Maslin, Mark. *Global Warming: A Very Short Introduction.* Oxford University Press. 2004.

McGuire, W. J., Kilburn, C. R. J., and Mason, I. M. *Natural Hazards and Environmental Change.* Arnold. 2002.

Meyer, Aubrey. *Contraction & Convergence: The Global Solution to Climate Change.* Green Books. 2000.

Speth, James Gustave. *Red Sky at Morning: America and the Crisis of the Global Environment.* Yale University Press. 2005.

Weart, Spencer. *The Discovery of Global Warming.* Harvard University Press. 2004.

## الفصل الثالث: على مشارف عصر جليدي

Dawson, Alastair. G. *Ice Age Earth: Late Quaternary Geology and Climate.* Routledge. 1992.

Fagan, Brian. *The Little Ice Age: How Climate Made History 1300–1850.* Basic Books. 2001.

Gribben, John, and Gribben, Mary. *Ice Age.* Barnes & Noble Books. 2002.

Macdougall, Doug. *Frozen Earth: The Once and Future Story of Ice Ages.* University of California Press. 2004.

Walker, Gabrielle. *Snowball Earth: The Story of a Maverick Scientist and his Theory of the Global Catastrophe that Spawned Life as we Know it.* Bloomsbury. 2003.

Wilson, R. C., Drury, S. A., and Chapman, J. A. *Great Ice Age: Climate Change and Life.* Taylor and Francis. 1999.

## الفصل الرابع: العدو الداخلي

Blong, Russell. *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions.* Elsevier. 1984.

Bryant, Edward. *Tsunami: The Underrated Hazard.* Cambridge University Press. 2001.

Francis, Peter, and Oppenheimer, Clive. *Volcanoes.* Oxford University Press. 2004.

Hadfield, Peter. *The Sixty Seconds That Will Change the World: The Coming Tokyo Earthquake.* Pan. 1995.

McGuire, Bill. *Surviving Armageddon: Solutions for a Threatened Planet.* Oxford University Press. 2005.

Rothery, David. *Teach Yourself Volcanoes.* McGraw Hill. 2002.

Sigurdsson, Haraldur, Stix, John, Houghton, Bruce, Rymer, Hazel, and Mc-Nutt, Steve. *Encyclopedia of Volcanoes.* Elsevier. 1999.

Smith, Robert, and Siegel, Lee. *Windows into the Earth: The Geologic Story of Yellowstone and Grand Teton National Parks.* Oxford University Press. 2000.

Winchcombe, Simon. *Krakatoa: The Day the Earth Exploded: August 27 1883.* Harper Collins. 2004.

Zeilinga, de Boer, Jelle, and Sanders, Donald Theodore. *Volcanoes in Human History: The Far-reaching Effects of Major Eruptions.* Princeton University Press. 2004.

______, *Earthquakes in Human History: The Far-reaching Effects of Seismic Disruptions.* Princeton University Press. 2005.

## الفصل الخامس: الخطر القادم من الفضاء

Alvarez, Walter. *T. Rex and the Crater of Doom.* Knopf. 1998.

Barnes-Svarney, Patricia. *Asteroid: Earth Destroyer or New Frontier.* Basic Books. 2003.

Belton, Michael., Yeomans, Donald., Samarasinha, Nalin, and Morgan, Thomas. *Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids.* Cambridge University Press. 2004.

Frankel, Charles. *End of the Dinosaurs: Chicxulub Crater and Mass Extinctions.* Cambridge University Press. 1999.

Gehrels, Tom (ed.). *Hazards Due to Asteroids and Comets.* University of Arizona Press. 1997.

Huggett, Richard. *Catastrophism: Asteroids, Comets and Other Dynamic Events in Earth History.* Verso. 1997.

Lewis, John. *Comet and Asteroid Impact Hazards on a Populated Earth.* Academic Press. 1999.

Peebles, Curtis. *Asteroids: A History.* Smithsonian Institution Press. 2001.

Steel, Duncan. *Target Earth.* Readers Digest. 2000.

Verschuur, Gerrit. *Impact! The Threat of Comets and Asteroids.* Oxford University Press. 1997.